



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Análisis estructural comparativo entre el sistema de paneles sandwich y el sistema de entramados de madera usados como módulo temporal de vivienda en la costa norte del Perú

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Johann Jhanpiere CÁRDENAS HUAMÁN

Yusef André CONTRERAS GÁLVEZ

ASESOR

Ricardo Ramiro SANTOS RODRÍGUEZ

**Lima, Perú
2019**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cárdenas, J. & Contreras, Y. (2019). *Análisis estructural comparativo entre el sistema de paneles sandwich y el sistema de entramados de madera usados como módulo temporal de vivienda en la costa norte del Perú*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Código ORCID del autor (dato opcional): No Aplica

Código ORCID del asesor o asesores (dato obligatorio): 0000-0003-4784-5628

DNI del autor: 70835495

Grupo de investigación: No Aplica

Institución que financia parcial o totalmente la investigación: Autofinanciado

Código ORCID del autor (dato opcional): No Aplica

Código ORCID del asesor o asesores (dato obligatorio): 0000-0003-4784-5628

DNI del autor: 73260182

Grupo de investigación: No Aplica

Institución que financia parcial o totalmente la investigación: Autofinanciado

Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación. Debe incluir localidades y/o coordenadas geográficas:

Distrito de Piura - Departamento de Piura - Perú (5°04'59"S 80°40'06"O)

Año o rango de años que la investigación abarcó:

2018 - 2019

Dedicatoria

A nuestras familias, ya que sin ellas, nada de esto sería posible.

Su apoyo incondicional y su ejemplo han guiado nuestro crecimiento personal y profesional.

Agradecimientos

A nuestra alma máter, y formadores académicos, por su experiencia compartida.

*A nuestros formadores profesionales, por el apoyo, comprensión y aliento brindado antes,
durante y después del desarrollo de esta tesis de grado.*

INDICE DEL CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCION.....	8
CAPITULO 1 : Generalidades.....	10
1.1. Antecedentes.....	10
1.1.1. Contexto Nacional.....	11
1.1.2. La Construcción Modular y la Vivienda de Emergencia	14
1.1.3. El Sistema de Paneles Sándwich.....	17
1.1.4. El Sistema de Entramados de Madera.....	19
1.2. Delimitación de la Investigación.....	20
1.2.1. Delimitación Espacial	20
1.2.2. Delimitación Temporal	21
1.2.3. Delimitación Social	21
1.2.4. Delimitación Teórica.....	21
1.3. Planteamiento del Problema	22
1.3.1. Descripción del Problema	22
1.3.2. Estructuración del Problema	23
1.3.3. Problema General.....	23
1.3.4. Problemas Específicos.....	23
1.4. Objetivos de la Investigación	24
1.4.1. Objetivo General	24
1.4.2. Objetivos Específicos.....	24
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	24
1.6. Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	25
1.7. Hipótesis.....	26
1.7.1. Hipótesis General	26
1.7.2. Hipótesis Específicas.....	26
1.8. Metodología y Tipo de Investigación.....	26
1.8.1. Diseño de la Investigación	27
1.8.2. Definición y Operacionalización de las Variables	28
1.8.3. Matriz de Consistencia	29
CAPITULO 2 : Marco Teórico	30
2.1. Módulo Temporal de Vivienda	30

2.1.1.	Lineamientos de los Módulos Temporales de Vivienda	31
2.1.2.	Criterios de Diseño.....	32
2.2.	Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno.....	34
2.2.1.	Componentes del Panel Sándwich	35
2.2.2.	Propiedades Mecánicas del Panel Sándwich.....	38
2.3.	Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento.....	47
2.3.1.	Componentes del Panel de Entramados de Madera	48
2.3.2.	Propiedades Mecánicas de los Entramados de Madera.....	54
CAPITULO 3 : Análisis y Diseño Estructural		57
3.1.	Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno.....	58
3.1.1.	Características del Sistema Estructural	58
3.1.2.	Consideraciones de Análisis Estructural	59
3.1.3.	Especificaciones de Materiales	61
3.1.4.	Configuración Estructural	62
3.1.5.	Metrado de Cargas	67
3.1.6.	Cortante Basal Estática.....	68
3.1.7.	Aceleración Espectral.....	69
3.1.8.	Modelamiento Estructural	72
3.1.9.	Análisis Estructural	85
3.1.10.	Diseño Estructural	96
3.2.	Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento.....	112
3.2.1.	Características del Sistema Estructural	112
3.2.2.	Consideraciones de Análisis Estructural	113
3.2.3.	Especificaciones de Materiales	115
3.2.4.	Configuración Estructural	116
3.2.5.	Metrado de Cargas	120
3.2.6.	Cortante Basal Estática.....	121
3.2.7.	Aceleración Espectral.....	122
3.2.8.	Modelamiento Estructural	125
3.2.9.	Análisis Estructural	140
3.2.10.	Diseño Estructural	153
CAPITULO 4 : Análisis de Confortabilidad Térmica.....		171
4.1.	Generalidades.....	171
4.1.1.	Zonificación bioclimática.....	172

4.1.2.	Transmitancia térmica máxima	173
4.1.3.	Envolvente.....	173
4.2.	Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno.....	177
4.2.1.	Muros	177
4.2.2.	Techo o Cobertura	181
4.2.3.	Piso o Plataforma	183
4.3.	Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento.....	186
4.3.1.	Muros	186
4.3.2.	Techo o Cobertura.....	190
4.3.3.	Piso o Plataforma	193
CAPITULO 5 : Análisis Económico		196
5.1.	Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno.....	198
5.1.1.	Presupuesto.....	198
5.2.	Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento.....	200
5.2.1.	Presupuesto.....	200
CAPITULO 6 : Evaluación y Presentación de Resultados		202
6.1.	Comportamiento Estructural Frente a Cargas Laterales	202
6.1.1.	Comportamiento Sismorresistente	202
6.2.	Comportamiento Estructural Frente a Cargas de Gravedad	205
6.3.	Confort Térmico.....	207
6.4.	Evaluación Económica.....	208
6.5.	Discusión de Resultados	212
CAPITULO 7 : Conclusiones y Recomendaciones		214
7.1.	Conclusiones	214
7.1.1.	Del Análisis y Diseño Estructural	214
7.1.2.	Del Análisis de Confortabilidad Térmica.....	215
7.1.3.	Del Análisis Económico.....	215
7.2.	Recomendaciones	216
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		217
ANEXOS		221
Anexo A: Planos de Modulación		222
Anexo B: Ensayos del Sistema de Paneles Sándwich.....		223
Anexo C: Detalle de Estimaciones de Carga		224

RELACION DE FIGURAS

Figura 1. Distribución Espacial de Módulo Temporal de Vivienda	33
Figura 2. Panel Techo (Termotecho) de Ancho Útil 976 mm	34
Figura 3. Detalle de la Unión Panel Muro (Termomuro), Plataforma y Pedestal	35
Figura 4. Esquema del Ensayo de Compresión Axial para Panel Sándwich	39
Figura 5. Falla por Aplastamiento en la Esquina Superior Izquierda del Panel Muro	40
Figura 6. Comportamiento de Elementos de un Panel Tipo Sándwich Sometido a Flexión	41
Figura 7. Esquema de Ensayo a Flexión para Panel Sándwich	43
Figura 8. Curvas de Comportamiento de los paneles ensayados a flexión.	44
Figura 9. Distribución de sensores en el ensayo cíclico de carga lateral	46
Figura 10. Panel Muro Estándar del Sistema de Entramados de Madera	50
Figura 11. Principios Estáticos del Comportamiento Estructural de Entramados Ligeros	55
Figura 12. Solicitaciones sobre un panel de entramado ligero	56
Figura 13. Distribución en Planta de MTV: Alternativa 01	62
Figura 14. Vista Superior de MTV: Alternativa 01	62
Figura 15. Distribución de Plataforma de MTV: Alternativa 01	63
Figura 16. Detalle de Secciones 1-1 y 2-2 de Plataforma de MTV: Alternativa 01	63
Figura 17. Detalle de Secciones 3-3 y 4-4 de Plataforma de MTV: Alternativa 01	64
Figura 18. Perfiles de Vigas Perimetrales y Correas de la Plataforma de MTV: Alternativa 01	64
Figura 19. Elevación Frontal de MTV: Alternativa 01	65
Figura 20. Elevación Posterior de MTV: Alternativa 01	65
Figura 21. Elevación Lateral de MTV: Alternativa 01	66
Figura 22. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones en la Dirección X-X: Alternativa 01	71
Figura 23. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones en la Dirección Y-Y: Alternativa 01	71
Figura 24. Asignación de las propiedades mecánicas del Panel Termomuro	72
Figura 25. Asignación de las propiedades mecánicas del acero conformado en frío.....	73
Figura 26. Asignación de las secciones de área para el Termomuro	74
Figura 27. Definición de propiedades uno de los perfiles de la plataforma (Perfil tipo C)	75
Figura 28. Casos de carga estática definidos en el SAP 2000: Alternativa 01	76
Figura 29. Patrones de carga para el sismo estático en X-X: Alternativa 01	77
Figura 30. Espectro sísmico de diseño de acuerdo a la E.030: Alternativa 01	78
Figura 31. Definición de Masa Sísmica: Alternativa 01	79
Figura 32. Parámetros de Análisis Dinámico en la dirección X-X: Alternativa 01	80
Figura 33. Vista en 3D del modelo matemático del MTV: Alternativa 01	81
Figura 34. Vista en planta del modelo matemático de la plataforma del MTV: Alternativa 01	81
Figura 35. Carga Permanente (CM) en kg/m ² : Alternativa 01	82
Figura 36. Carga Viva (L) sobre Plataforma en kg/m ² : Alternativa 01	82

Figura 37. Carga Viva (Lr) sobre Cubierta en kg/m ² : Alternativa 01	83
Figura 38. Carga de viento en X-X (Wx) en kg/m ² : Alternativa 01	83
Figura 39. Carga de Viento en Dirección Y-Y (Wy1) en kg/m ² : Alternativa 01	84
Figura 40. Carga de Viento en Dirección Y-Y (Wy2) en kg/m ² : Alternativa 01	84
Figura 41. Etiquetas de Puntos - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 01	86
Figura 42. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 01	87
Figura 43. Etiquetas de Puntos - Eje 1 (Muro Posterior): Alternativa 01	87
Figura 44. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02	88
Figura 45 Etiquetas de puntos - Eje A (Muro lateral) – Alternativa 01	89
Figura 46. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 01	90
Figura 47. Etiquetas de puntos - Eje D (Muro lateral): Alternativa 01	90
Figura 48. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 01	91
Figura 49. Asignación de etiquetas a los puntos de los muros de los ejes B y C (Muros interiores)	92
Figura 50. Fuerza Cortante Basal del Análisis Estático y Dinámico: Alternativa 01	94
Figura 51. Factor Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Longitudinal: Alternativa 01	95
Figura 52. Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Transversal: Alternativa 01	95
Figura 53. Esfuerzos, fuerzas y momentos internos resultantes en elementos SHELL	96
Figura 54. Esfuerzo Máximo de Compresión (S11) en Muro de Fachada: Alternativa 01	97
Figura 55. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Muro de Fachada: Alternativa 01	98
Figura 56. Esfuerzo Máximo de Compresión (S12) en Muro de Fachada: Alternativa 01	98
Figura 57. Máximo de Compresión (S11) en Muro Posterior: Alternativa 01	99
Figura 58. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Muro Posterior: Alternativa 01	100
Figura 59. Esfuerzo Máximo Cortante (S12) en Muro Posterior: Alternativa 02	100
Figura 60. Esfuerzo Máximo de Compresión (S11) en Muro Lateral: Alternativa 01.	101
Figura 61. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Muro Lateral: Alternativa 01	102
Figura 62. Esfuerzo Máximo Cortante (S12) en Muro Lateral: Alternativa 01	103
Figura 63. Esfuerzo Máximo de Compresión (S11) en Cobertura: Alternativa 01	104
Figura 64. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Cobertura: Alternativa 01	104
Figura 65. Esfuerzo Máximo Cortante (S12) en Cobertura: Alternativa 01	105
Figura 66. Perfil Y - Máximo momento actuante en Kg-m: Alternativa 01	106
Figura 67. Dimensiones del Perfil Y (en mm): Alternativa 01	106
Figura 68. Perfil J - Máximo momento actuante en Kg-m: Alternativa 01	108
Figura 69. Dimensiones del Perfil J (en mm): Alternativa 01	108
Figura 70. Perfil C - Máximo momento actuante en Kg-m: Alternativa 01	110
Figura 71. Dimensiones del Perfil C (en mm): Alternativa 01	110
Figura 72. Distribución en Planta de MTV: Alternativa 02	116
Figura 73. Vista Superior de MTV: Alternativa 02	116

Figura 74. Distribución de Plataforma de MTV: Alternativa 02	117
Figura 75. Detalle de Sección 1-1 de Plataforma de MTV: Alternativa 02	117
Figura 76. Detalle de Secciones 2-2 y 3-3 de Plataforma de MTV: Alternativa 02	118
Figura 77. Elevación Frontal de MTV: Alternativa 02	118
Figura 78. Elevación Posterior de MTV: Alternativa 02	119
Figura 79. Elevación Lateral de MTV: Alternativa 02	119
Figura 80. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones– Dirección X-X: Alternativa 02	124
Figura 81. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones - Dirección Y-Y: Alternativa 02	124
Figura 82. Asignación de las propiedades mecánicas de la madera	125
Figura 83. Asignación de las propiedades mecánicas del fibrocemento	126
Figura 84. Definición de la sección de listones de madera de 2"x2"	127
Figura 85. Definición de la sección de placa de fibrocemento	128
Figura 86. Definición de la sección de triplay fenólico	129
Figura 87. Modificación del peso propio de la sección de triplay fenólico	130
Figura 88. Patrones de Carga Estática: Alternativa 02	131
Figura 89. Patrones de carga del sismo estático en X-X: Alternativa 02	132
Figura 90. Espectro sísmico de diseño de acuerdo a la E.030: Alternativa 02	133
Figura 91. Definición de Masa Sísmica: Alternativa 02	134
Figura 92. Vista en 3D del modelo matemático del MTV: Alternativa 02	135
Figura 93. Representación de Uniones Articuladas en Entramados de Madera	136
Figura 94. Carga Permanente (CM) en kg/m^2 : Alternativa 02	137
Figura 95. Carga Viva (L) sobre Plataforma en kg/m^2 : Alternativa 02	137
Figura 96. Carga Viva (Lr) sobre Cubierta en kg/m^2 : Alternativa 02	138
Figura 97. Carga de Viento en Dirección X-X (W_x) en kg/m^2 : Alternativa 02	138
Figura 98. Carga de Viento en Dirección Y-Y (W_{y1}) en kg/m^2 : Alternativa 02	139
Figura 99. Carga de Viento en Dirección Y-Y (W_{y2}) en kg/m^2 : Alternativa 02	139
Figura 100. Etiquetas de Puntos - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02	141
Figura 101. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02	142
Figura 102. Etiquetas de Puntos - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 02	142
Figura 103. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 02	143
Figura 104. Etiquetas de Puntos - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 02	144
Figura 105. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 02	145
Figura 106. Etiquetas de Puntos - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 02	145
Figura 107. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 02	146
Figura 108. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje B (Muro Interior): Alternativa 02	147
Figura 109. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje B (Muro Interior): Alternativa 02	148
Figura 110. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje C (Muro Interior): Alternativa 02	148

Figura 111. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje C (Muro Interior): Alternativa 02	149
Figura 112. Cortante Basal Estática y Cortante Basal Dinámica: Alternativa 02	151
Figura 113. Factor Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Longitudinal: Alternativa 02	152
Figura 114. Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Transversal: Alternativa 02	152
Figura 115. Envolverte de Fuerzas Axiales: Alternativa 02	155
Figura 116. Sección Transversal 2"x2": Alternativa 02	159
Figura 117. Sección Transversal 2"x4": Alternativa 02	162
Figura 118. Sección Transversal 2"x6"+2"x4": Alternativa 02	165
Figura 119. Sección Transversal 2"x3": Alternativa 02	168
Figura 120. Detalle de Ventanas V1 y V2: Alternativa 01	177
Figura 121. Plataforma de Piso del Sistema de Paneles Sándwich.....	184
Figura 122. Detalle de Ventanas V1 y V2: Alternativa 02	186
Figura 123. Detalle de panel techo – Sistema de Entramados de Madera	191
Figura 124. Detalle de Plataforma – Sistema de Entramados de Madera	193
Figura 125. Flecha máxima producida por Carga Viva en cobertura (m): Alternativa 01	205
Figura 126. Flecha máxima producida por Carga Viva en cobertura (m): Alternativa 02.....	205
Figura 127. Flecha máxima producida por Carga Viva en plataforma (m): Alternativa 01	206
Figura 128. Flecha máxima producida por Carga Viva en plataforma (m): Alternativa 02	207
Figura 129. Costo Directo por componente constructivo	208
Figura 130. Incidencia de componentes en el costo directo.	209
Figura 131. Incidencia de componentes en el costo directo.	210
Figura 132. Costo Directo por metro cuadrado	211

RELACION DE TABLAS

Tabla 1 Daños en el Sector Vivienda a Escala Nacional por el FEN 1997/98.....	11
Tabla 2 Viviendas Afectadas en la Costa Norte por el FEN 1997/98.....	12
Tabla 3 Viviendas Afectadas en la Costa Norte por el Fenómeno de El Niño Costero 2017	13
Tabla 4 Estimado de Daños y Pérdidas Asociadas a los Últimos FEN.....	13
Tabla 5 Resumen de Emergencias Atendidas en el Periodo 2012 - 2016.....	16
Tabla 6 Resultados Experimentales de Ensayos sobre Paneles Sándwich.....	18
Tabla 7 Ubicación de Provincias en Zona Bioclimática Desértico	20
Tabla 8 Operacionalización de las Variables	28
Tabla 9 Matriz de Consistencia	29
Tabla 10 Propiedades Mecánicas del Acero Estructural.....	36
Tabla 11 Resistencia al Esfuerzo Cortante del Adhesivo Presurizado 3M Cilindro 70	37
Tabla 12 Valores de Densidades del Poliestireno Expandido.....	38
Tabla 13 Propiedades Mecánicas del EPS de Diferentes Densidades.....	38

Tabla 14	Resultados del Ensayo de Compresión Axial en Paneles Sándwich.....	40
Tabla 15	Resultados del Ensayo a Flexión en Paneles Sándwich.....	43
Tabla 16	Resultados del Ensayo Cíclico en Muros de Paneles Sándwich	46
Tabla 17	Propiedades Físicas y Mecánicas de la Placa de Fibrocemento SUPERBOARD.....	49
Tabla 18	Densidad Básica según Grupos Estructurales	51
Tabla 19	Módulo de Elasticidad según Grupos Estructurales.....	51
Tabla 20	Esfuerzos Admisibles según Grupos Estructurales.....	52
Tabla 21	Coeficientes considerados para la Determinación de los Esfuerzos Admisibles	52
Tabla 22	Características Higrométricas de la Lana de Vidrio	54
Tabla 23	Características de MTV en base al Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno.....	58
Tabla 24	Parámetros Sísmicos: Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno	60
Tabla 25	Presiones de Viento para Análisis y Diseño Estructural: Alternativa 01	68
Tabla 26	Espectro de Diseño de la norma técnica E.030 para la Alternativa 01	70
Tabla 27	Casos de Carga Estática Asignados al Modelo: Alternativa 01	76
Tabla 28	Límites para la Distorsión del entrepiso: Alternativa 01	85
Tabla 29	Distorsión de Entrepiso - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 01	86
Tabla 30	Distorsión de Entrepiso - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 01	88
Tabla 31	Distorsión de Entrepiso - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 01.....	89
Tabla 32	Distorsión de Entrepiso - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 01.....	91
Tabla 33	Distorsión de Entrepiso (Ejes B y C): Alternativa 01	92
Tabla 34	Periodo fundamentales y masa participante: Alternativa 01	93
Tabla 35	Factor escalar para el Cortante Dinámico – Alternativa 01	94
Tabla 36	Comparación entre esfuerzos actuantes y resistentes en el muro fachada	99
Tabla 37	Esfuerzos Actuantes y Admisibles en Muro Posterior: Alternativa 01	101
Tabla 38	Esfuerzos Actuantes y Admisibles en Muro Lateral: Alternativa 01	103
Tabla 39	Esfuerzos Actuantes y Admisibles en Cobertura: Alternativa 01	105
Tabla 40	Propiedades del perfil Y: Alternativa 01	107
Tabla 41	Propiedades del perfil J: Alternativa 01	109
Tabla 42	Propiedades del perfil C: Alternativa 01.....	111
Tabla 43	Características de MTV en base al Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento	112
Tabla 44	Parámetros Sísmicos: Sistema de Entramados de Madera Revestidos con Fibrocemento.....	114
Tabla 45	Presiones de Viento para Análisis y Diseño Estructural: Alternativa 02	121
Tabla 46	Espectro de Diseño de la norma técnica E.030: Alternativa 02	123
Tabla 47	Casos de Carga Estática Asignados al Modelo: Alternativa 02	131
Tabla 48	Límites para la Distorsión de Entrepiso: Alternativa 02	140
Tabla 49	Distorsión de Entrepiso - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02.....	141
Tabla 50	Distorsión de Entrepiso - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 02	143

Tabla 51 Distorsión de Entrepiso - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 02.....	144
Tabla 52 Distorsión de Entrepiso - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 02.....	146
Tabla 53 Distorsión de Entrepiso - Eje B (Muro Interior): Alternativa 02	147
Tabla 54 Distorsión de Entrepiso - Eje C (Muro Interior): Alternativa 02	149
Tabla 55 Periodo fundamentales y masa participante: Alternativa 02.....	150
Tabla 56 Factor Escalar para el Cortante Dinámico: Alternativa 02	151
Tabla 57 Propiedades de la Sección de Pie Derecho Estándar: Alternativa 02.....	153
Tabla 58 Relación de Esbeltez Límite C_k entre Columnas Intermedias y Largas	154
Tabla 59 Propiedades de la Sección de Solera Estándar: Alternativa 02.	159
Tabla 60 Propiedades de la Sección de Viga de Plataforma: Alternativa 02	162
Tabla 61 Propiedades de la Sección de Viga Principal: Alternativa 02	165
Tabla 62 Propiedades de la Sección de Viga de Cobertura: Alternativa 02.....	168
Tabla 63 Características Climáticas de la Zona Bioclimática Desértica del Perú.....	172
Tabla 64 Valores Límites Máximos de Transmitancia Térmica (U) en $W/m^2 K$	173
Tabla 65 Tipologías de Envolvente	174
Tabla 66 Cuadro de Vanos.....	175
Tabla 67 Áreas brutas y efectivas de los muros perimetrales	176
Tabla 68 Transmitancia Térmica de los Muros Tipo 1A para el Sistema de Paneles Tipo Sándwich	180
Tabla 69 Transmitancia Térmica de Techos Tipos 3B para el Sistema de Paneles Sándwich.....	182
Tabla 70 Transmitancia Térmica de los Muros Tipo 1A para el Sistema de Entramados de Madera	189
Tabla 71 Transmitancia Térmica de Techos Tipos 3B para el Sistema de Entramados de Madera.....	192
Tabla 72 Ratios de producción promedio de MTV.....	197
Tabla 73 Presupuesto de Fabricación de Módulo Temporal de Vivienda - Alternativa 01	198
Tabla 74 Presupuesto de Fabricación de Módulo Temporal de Vivienda - Alternativa 02	200
Tabla 75 Periodos Fundamentales de Vibración.....	202
Tabla 76 Estimación del Peso Sísmico de las Alternativas Evaluadas	203
Tabla 77 Cortante Basal Estático y Dinámico de las Alternativas Evaluadas	204
Tabla 78 Distorsiones de Entrepiso	204
Tabla 79 Deflexiones Máximas en la Cobertura de cada Sistema Constructivo.....	206
Tabla 80 Deflexiones Máximas en la Plataforma de cada Sistema Constructivo	207
Tabla 81 Valores de Transmitancia Térmica por Componente de cada Sistema Constructivo	207

RESUMEN

La presente tesis desarrolla el análisis y diseño estructural de dos alternativas evaluadas para la fabricación de un módulo temporal de vivienda (MTV), el sistema de paneles sándwich y el sistema de entramados de madera, considerando las condiciones térmicas y ambientales de su ubicación, los departamentos de la Costa Norte del Perú (Piura, La Libertad, y Lambayeque).

La geometría y distribución, en planta y elevación, siguen los lineamientos establecidos por la Asociación Esfera, la experiencia internacional, y el último proceso nacional para la adquisición de MTV's para asistencia frente a emergencias y desastres, la Adjudicación Simplificada N°003-2017/VIVIENDA-OGA-UE.001. Cada alternativa consta de 03 ambientes independizados por tabiques intermedios con un área habitable total de 18.00 m², altura mínima es de 2.40 m en su punto más bajo y 2.90 m en su punto más alto, una cubierta a un agua con voladizos perimetrales, una plataforma principal elevada 30 cm de suelo mediante pedestales, y vanos constituidos por 01 puerta y 03 ventanas en la fachada frontal, y 02 ventanas altas en la fachada posterior.

En el sistema de paneles sándwich, el sistema estructural en ambas direcciones está compuesto por muros autoportantes constituidos por láminas metálicas y un relleno de poliestireno expandido; mientras que, en el sistema de entramados de madera, viene dado por bastidores revestidos perimetralmente por fibrocemento en ambas caras, y un relleno de lana de vidrio como aislante.

El análisis estructural comparativo comprende el estudio de la respuesta ante carga estática y dinámica, vertical y horizontal de acuerdo a los parámetros establecidos por la normativa nacional vigente (RNE), seguido del diseño estructural de sus componentes. Se complementa este estudio con un análisis del nivel de confort térmico, y una estimación de costos de cada alternativa.

Los resultados evidencian que cada alternativa satisface las exigencias técnicas de la normativa nacional, recomendándose su uso para atender la demanda de MTV's en situaciones de desastre.

INTRODUCCION

Las situaciones de emergencia y desastre impactan negativamente sobre la calidad de vida de la población afectada, siendo necesaria la implementación inmediata de medidas de recuperación que busquen reestablecer las condiciones mínimas de habitabilidad en el menor plazo posible. En este contexto, la habilitación de módulos temporales de vivienda (MTV) adaptados a las condiciones climáticas y ambientales de las zonas afectadas constituye una acción urgente, cuya selección debe estar basada en criterios técnicos y económicos. En la actualidad, la escasa difusión del comportamiento mecánico de los sistemas modulares y sus características técnicas no permite contar con un banco de proyectos alineados con los requerimientos técnicos mínimos establecidos por la normativa nacional vigente, que agilicen los procesos de adquisición y distribución.

En tal sentido la presente tesis evalúa la idoneidad técnica de MTV's fabricados con el sistema de paneles tipo sándwich y con el sistema de entramados de madera. Así, en el Capítulo 1, se detallan las afectaciones históricas de la vivienda en situaciones de desastre, los antecedentes de la vivienda de emergencia, y se define el problema y objetivos de la investigación.

Luego en el Capítulo 2, se detallan los conceptos, definiciones y lineamientos aplicables a los módulos temporales de vivienda y los sistemas evaluados como alternativas.

Posterior a ello en el Capítulo 3, se precisan las características y consideraciones de cada sistema estructural y se realiza el proceso análisis y diseño correspondiente a cada alternativa, en base a las normas técnicas E.010, E.020, E.030 y E.090 (NTE).

En el Capítulo 4, se efectúa el análisis de confort térmico para cada alternativa, con el fin de asegurar que los MTV's permitan adecuadas condiciones de habitabilidad en función del clima de la ubicación del proyecto, en base a los lineamientos de la norma técnica EM.110 (NTE).

El Capítulo 5 complementa la verificación técnica, con una estimación del costo unitario de cada MTV a fin de comparar los precios por componente de cada sistema.

El Capítulo 6, resume los resultados obtenidos en los Capítulos 3, 4 y 5, presentando un comparativo de los parámetros que caracterizan el comportamiento estructural y el nivel de confort térmico de cada alternativa, así como de su precio unitario de producción.

Finalmente, en el Capítulo 7 se brindan las conclusiones del estudio y las recomendaciones del caso para ampliar el conocimiento sobre el tema de investigación.

Se incluyen como anexos para cada alternativa, los planos desarrollados para el análisis y diseño estructural de los elementos, los ensayos de paneles típicos del sistema de paneles sándwich, cuyos resultados fueron empleados para la realización de esta tesis, y una estimación de la carga total para cada sistema evaluado

CAPITULO 1 :

Generalidades

1.1. Antecedentes

Como enfatiza Anders (2007), el derecho al refugio de emergencia no existe de forma explícita a nivel internacional al día de hoy. Sin embargo, documentos tales como la Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948), el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (1996) y la propia Constitución de la mayoría de los Estados, establecen implícitamente la necesidad fundamental de otorgar condiciones mínimas de habitabilidad a las poblaciones afectadas por situaciones de desastre.

Es así que a fines del siglo XX se llevó a cabo la Primera Conferencia Internacional de Asentamientos de Emergencia (1996) en la Universidad de Winsconsin-Madison, que consolidó la experiencia internacional obtenida acerca de problemas críticos concernientes a la necesidad de ayuda humanitaria para los damnificados por desastres. Se discutieron medidas de mitigación y perspectivas de desarrollo en la gestión de soluciones de vivienda temporal, dado que las poblaciones afectadas por desastres tienden a desplazarse no solo dentro del territorio del país de origen (generando nuevos asentamientos sin ordenamiento territorial), sino que pueden incluso configurar éxodos internacionales en su búsqueda de refugio y mejores condiciones de vida.

Generalmente, las acciones de recuperación post-desastre se definen en función a la magnitud del mismo, por ser ésta determinante en el alcance de la solución definitiva y en la estimación del tiempo necesario para su ejecución. Particularmente en el Perú, se han presentado desastres con rangos de afectaciones que abarcan desde daños menores en infraestructura hasta modificaciones radicales del entorno paisajístico con destrucción total y colapso de los servicios básicos.

1.1.1. Contexto Nacional

En los países subdesarrollados, los fenómenos naturales tienen el potencial de generar desastres debido al grado de vulnerabilidad que caracteriza a sus poblaciones. La vulnerabilidad puede definirse como la incapacidad de una sociedad de adaptarse a los efectos de los peligros de la naturaleza o causados por la actividad humana, por lo que, a medida que esta incapacidad sea mayor, el riesgo también lo será. No resulta extraño entonces que las poblaciones vulnerables sean generalmente aquellas con menores recursos económicos (y menor facilidad de acceso a un espacio de vivienda segura), por lo que, en consecuencia, los principales esfuerzos de recuperación están dirigidos al reasentamiento de estas poblaciones, que concentran el mayor porcentaje de los daños.

En base a los reportes del SENAMHI (2014) e INDECI (2017), es posible afirmar que el Perú, un país con variaciones climáticas drásticas tales como los episodios extremos de lluvias y las altas temperaturas de la superficie del mar asociadas al fenómeno de El Niño (FEN); muestra una gran vulnerabilidad, siendo evidencia de ello las pérdidas económicas que implicaron eventos como El Niño 1982/83 y El Niño 1997/98; así como el recientemente acontecido Niño Costero 2017.

Tabla 1

Daños en el Sector Vivienda a Escala Nacional por el FEN 1997/98

Tipo de Daño o Efecto	Daños Totales US\$ millones	Daños Directos US\$ millones	Daños Indirectos US\$ millones
Viviendas Destruídas	28.82	28.82	-
Viviendas a Reubicar	86.52	65.09	21.43
Viviendas Dañadas	33.54	33.54	-
Daños Menores	19.93	19.93	-
Reposición de Enseres	54.46	54.46	-
Total Nacional	223.27	201.84	21.43

Nota. Adaptado de “El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memorias, Retos y Soluciones” por la Corporación Andina de Fomento (CAF), 2000, pag.169.

Los mayores efectos del fenómeno de El Niño 1997/98 en los asentamientos humanos ocurrieron en la costa y, en particular, en la costa norte; aunque las medidas preventivas del año 1997¹ contribuyeron a mitigar parcialmente los daños. Según cifras del INEI (1998), 107 527 unidades habitacionales fueron afectadas en todo el país, de las cuales 31 300 quedaron destruidas o inhabitables (Galarza & Kámiche, 2012).

Tabla 2

Viviendas Afectadas en la Costa Norte por el FEN 1997/98

Grado de Daño o Efecto	Piura	Lambayeque	La Libertad	Total
Totalmente Destruídas	1 504	2 612	1 666	5 782
No Habitables	4 806	7 089	4 405	16 300
Parcialmente Destruídas	11 202	6 570	4 693	22 465
Levemente Afectadas	11 048	7 263	6 333	24 644
Total Nacional	28 560	23 534	17 097	69 191

Nota. Adaptado de “El Fenómeno El Niño y los desastres: Enfoques y estrategias de las ONG” por Ferradas, P., 2000, Sección 1, Parte F, pp. 230-232.

En las viviendas afectadas, los daños fueron principalmente originados por los continuos desbordes del cauce de los ríos y el colapso de las redes de drenaje; que, al resultar insuficientes ante la presencia de caudales superiores a los considerados en su diseño, condujeron a inundaciones y aniegos en las zonas urbanas. Asimismo, las lluvias torrenciales contribuyeron al flujo del lodo y piedras de las quebradas en las zonas montañosas generando avalanchas y huaycos.

De acuerdo a la CAF (2000), una seria problemática puesta en evidencia, fue la precariedad de las viviendas de las poblaciones rurales, en su mayoría construidas con esteras o adobe, y consecuentemente, las deficiencias estructurales propias de la autoconstrucción.

¹ El fenómeno de El Niño de 1997/98 se hizo presente en marzo de 1998. Sin embargo, debido a su identificación en junio de 1997, el Estado Peruano ya había declarado en estado de emergencia buena parte del territorio nacional (Franco, 2006).

Tabla 3*Viviendas Afectadas en la Costa Norte por el Fenómeno de El Niño Costero 2017*

Grado de Daño o Efecto	Piura	Lambayeque	La Libertad	Total
Colapsadas	6 447	5 063	11 004	29 821
Afectadas	76 853	30 329	104 099	347 633
Inhabitables	7 925	4 973	5 954	25 361

Nota. Adaptado de “Fortaleciendo la respuesta ante desastres en el Perú: Lecciones Aprendidas del Fenómeno El Niño Costero 2017 en el Perú” por INDECI, 2018, pag.27.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los daños y pérdidas nacionales estimadas por sectores, asociados a los fenómenos de El Niño de 1982/83, 1997/98 y 2017.

Tabla 4*Estimado de Daños y Pérdidas Asociadas a los Últimos FEN*

Sector	El Niño 1982/83	El Niño 1997/98	El Niño Costero 2017
Población	512 muertos 1.27 millones de afectados	366 muertos, 0.53 millones de afectados	114 muertos, 1.08 millones de afectados
Infraestructura de Transporte	2 600 km de vías 51 puentes	3 136 km de vías 370 puentes	4 931 km de vías 881 puentes (489 totalmente destruidos)
Vivienda	98 000 totalmente destruidas 111 000 dañadas	48 563 casas destruidas 108 000 dañadas	38 728 viviendas colapsadas 372 020 dañadas 27 635 totalmente destruidas
Educación	875 escuelas dañadas	2 873 escuelas dañadas	2 150 escuelas dañadas
Salud	260 puestos de salud dañados	580 puestos de salud dañados	726 puestos de salud dañados
Pérdidas Totales en Dólares Americanos	3.28 mil millones (1998 \$)	3.50 mil millones (1998 \$)	~ 3.90 mil millones (2017 \$)

Nota. Adaptado de “Managing El Niño Risk Under Uncertainty in Peru: Learning from the past for a more disaster-resilient future” por French, A. y Mechler, R, 2017, pag.12.

Piura, Lambayeque y La Libertad son los departamentos más afectados por la ocurrencia del fenómeno de El Niño tal como se evidencia en la Tabla 2 y la Tabla 3. De acuerdo a cifras del INDECI (2018), se estima que a consecuencia de El Niño Costero más de 283 000 familias a nivel

nacional perdieron su vivienda, y que hasta julio de 2017, 12 000 personas aún vivían en albergues o estaban alojadas en sitios espontáneos, principalmente en la región de Piura, siendo las principales afectadas por el retraso en las obras de la Reconstrucción con Cambios².

Las estimaciones de daños y pérdidas asociadas señaladas por Tozzi & Calderón (2012), para las inundaciones de Loreto del 2012, y del INDECI (2009) para el sismo de Pisco de 2007, convierten a estos eventos, junto a los anteriormente descritos, en los desastres naturales de mayor envergadura de los últimos 20 años.

1.1.2. La Construcción Modular y la Vivienda de Emergencia

Como afirman Venkateswaran, MacClune & Enriquez (2017), el Perú no es indiferente a la tendencia internacional de establecer planes de recuperación ante desastres a largo plazo, puesto que también enfoca sus esfuerzos en la infraestructura de reconstrucción. Generalmente, en países con baja capacidad de respuesta ante desastres, se requiere un proceso basado en etapas diferenciadas; una etapa primaria, con medidas de transición para superar inmediatamente una situación de precariedad; y una etapa secundaria, que permita reestablecer de forma permanente la calidad y condiciones de vida iniciales. Dentro de la primera etapa descrita, se incluye el reasentamiento inicial de la población afectada; siendo una alternativa común la implementación de módulos prefabricados, como viviendas de emergencia.

La construcción modular nace por la necesidad de implementar nuevos métodos y sistemas constructivos en los que se utilicen materiales alternativos, ligeros, de fácil manejo y costo reducido. Las primeras construcciones de este tipo aparecieron alrededor de 1830, y no fue sino hasta el inicio de la revolución industrial que su producción empezó a masificarse.

² En Setiembre de 2017 se aprobó el Plan Integral de Reconstrucción con Cambios, que identificó las obras e iniciativas que debían ser implementadas en base al catastro de daños reportados por los sectores estatales y el INDECI.

Posteriormente, como resultado de la segunda guerra mundial se produce una enorme escasez de vivienda, materiales y mano de obra especializada; que de acuerdo con Bender (1976), motivó un cambio en los sistemas de construcción por sistemas más económicos y de fácil acceso. Abascal (2017) refiere que no se tiene evidencia anterior a la ocurrencia de este conflicto armado que permita afirmar que existiese un país que donase algún tipo de vivienda de emergencia que no fuese una tienda de campaña.

A nivel internacional, puede citarse un extenso listado de propuestas para refugios de emergencia, en base a parámetros tales como las condiciones climáticas, el número de habitantes por unidad de vivienda, las características de los materiales, el sistema estructural, el área mínima habitable por persona, el costo promedio por unidad habitacional e incluso aspectos culturales que permitan preservar las costumbres y la identidad étnica de la población.

En Sudamérica; resalta el caso de Chile, en donde a raíz del incendio de Valparaíso de 2014, se redefinió el modelo de solución habitacional, desarrollándose estándares con requerimientos técnicos mínimos para el diseño, fabricación y construcción de viviendas de emergencia. Como expresa la ONEMI (2017), se instauró el concepto de “estándar de calidad” por sobre la definición de costos, debido a que las viviendas de emergencia otorgadas tras el desastre no resistieron las condiciones climáticas, deteriorándose y agravando la situación de vulnerabilidad de las familias.

Ese mismo año en Uruguay, Fontana, Laurino, Vila Rivero & Botti Azambuya (2014) plantearon la creación de un sistema nacional de viviendas de emergencias para atender a los núcleos familiares asentados en zona de riesgo de ocurrencia de catástrofes, junto a una propuesta de módulos habitacionales desarmables y reutilizables, basados en el enfoque de que una solución habitacional formal es una forma efectiva de reducir el grado de vulnerabilidad de una población afectada por una catástrofe.

En el Perú, la construcción modular está presente desde hace más de 50 años, con principal ámbito de aplicación en la industria minera y petrolera, debido al acelerado crecimiento de estos mercados, pero con poco impacto en el ámbito habitacional y de vivienda social. Las características principales de los módulos prefabricados son la facilidad de montaje y desmontaje de sus componentes, su nivel de confort y su versatilidad de uso.

Tabla 5

Resumen de Emergencias Atendidas en el Periodo 2012 - 2016

Año	Región Atendida	Nro. de MTV Instalados	Total de MTV Instalados
2012	Huancavelica	58	218
	Apurímac	160	
2013	Loreto	496	674
	Lambayeque	178	
2014	Loreto	100	513
	Junín	10	
	Cusco	14	
	Huancavelica	135	
	Moquegua - Ubinas	124	
	Cusco	130	
2015	Madre de Dios	113	510
	Madre de Dios	51	
	Loreto	250	
	Cajamarca	17	
	Moquegua	38	
	La Libertad	41	
2016	Junín	25	461
	Tacna	35	
	Puno	101	
	San Martín	216	
	Cajamarca	39	
	Ancash	18	
	Moquegua	27	
Total			2 376

Nota. Recuperado de <http://s01pweb001.vivienda.gob.pe/DNV/emergencia.php>

Al no contar con una estructura organizacional similar a un sistema nacional de vivienda de emergencia, la responsabilidad de la atención de la población en situaciones de desastre, y su reasentamiento, recae sobre el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (en adelante SINAGERD), creado en el 2011 a través de la Ley N°29664. De acuerdo al procedimiento para la atención de emergencias establecido en el Decreto Supremo N°012-2015-VIVIENDA, los gobiernos locales y regionales son parte en el proceso de entrega de MTV's, sin embargo, al tener que cumplir con sus propias actividades en simultáneo, conllevan a una dilación en los plazos de atención. Esto se evidencia en el reducido número de MTV's entregados a la fecha.

1.1.3. El Sistema de Paneles Sándwich

Dentro de los sistemas constructivos que pueden considerarse para la concepción de un módulo temporal de vivienda; uno de particular interés es el sistema de paneles sándwich, constituido por un conjunto de capas idénticas en los extremos y un núcleo en base a un material aislante. En la opinión de Fernández (1974), este sistema es considerado por algunos autores como la solución más aceptada y que se acerca más a los cometidos para una construcción modular y liviana.

Una de las variantes del panel sándwich de mayor empleo en la actualidad es aquella formada por dos láminas metálicas en sus extremos y un núcleo central de poliestireno expandido (EPS). En relación a este sistema, se han realizado investigaciones que permiten identificar y describir las propiedades físicas y mecánicas de sus componentes y del panel en conjunto.

En el año 2009, se realizaron ensayos sobre paneles sándwich con núcleo de poliestireno expandido en los laboratorios del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (en adelante, CISMID), obteniéndose resultados para los ensayos de compresión y flexión, que se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6*Resultados Experimentales de Ensayos sobre Paneles Sándwich*

Parámetro	Valor Promedio Obtenido
Esfuerzo Axial Máximo	7.17 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidad	5 66 kgf/cm ²
Sobrecarga Máxima*	37.70 kgf/cm ²

(*) Superada esta carga, se produjo una falla por desprendimiento de la lámina metálica de poliestireno expandido.

Nota. Adaptado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pag.12.

En el año 2012, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (en adelante MVCS), a través del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (en adelante SENCICO), aprobó mediante Resolución Ministerial N° 193-2012/VIVIENDA, el sistema constructivo no convencional denominado “Sistema Modular NEXCOM”, el cual emplea paneles livianos tipo sándwich con núcleo de poliestireno expandido, unidos entre sí por medio de un sistema machihembrado y remaches. Los perfiles de lámina metálica de este sistema están anclados a la cimentación por medio de clavos de concreto, los paneles son autoportantes y pueden adaptarse a cimientos corridos, losas simples, losas armadas, o conectarse a una plataforma apoyada sobre pedestales de concreto. A través de esta resolución se otorga conformidad al uso de este sistema ante situaciones de riesgo y emergencias, limitándose a construcciones de un solo nivel.

De acuerdo a un estudio realizado por Medina (2016), el panel sándwich con núcleo de poliestireno expandido se clasifica dentro de la categoría TR80 según el estándar UNE EN 1607³ (resistencia mínima a la tracción perpendicular a las caras del panel de 80 KPa), y en la categoría BS350 según el estándar UNE EN 12089 (resistencia mínima a la flexión de 350 KPa).

³ Los documentos normativos **UNE-EN** (acrónimo de Una Norma Española – European Norm) son un conjunto de normas, **normas experimentales** e informes (estándares) editados por el Comité Europeo de Normalización (CEN), que han sido posteriormente adaptados al ámbito nacional español por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Los ensayos realizados permitieron identificar el principal mecanismo de falla del panel, dado por la falta de cohesión entre las perlas del poliestireno expandido y el adhesivo empleado.

1.1.4. El Sistema de Entramados de Madera

Una alternativa de solución comúnmente considerada en la concepción de módulos temporales de vivienda y viviendas sociales, es el uso de sistemas en base a entramados de madera. La Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), en adelante JUNAC, en su Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, define a los entramados de madera como estructuras constituidas por elementos de sección transversal pequeña y a su vez muy esbeltos, pero dispuestos a corta distancia entre ellos, arriostrados o cubiertos por un entablado o por tableros conformando volúmenes arriostrados entre sí; resultando en una rigidez del conjunto similar a la de una caja en donde las cargas se transmiten en forma repartida. En este documento, que constituye el primer manual de diseño para maderas tropicales o latifoliadas editado en el mundo, pueden obtenerse recomendaciones y metodologías definidas para el análisis y diseño de muros de corte (constituidos en este sistema por un arreglo de pie-derechos, soleras perimetrales, riostras o rigidizadores intermedios y un cerramiento y/o revestimiento fijado al entramado).

En el ámbito nacional, las consideraciones para el análisis y diseño de este sistema constructivo están reguladas por la norma técnica E-010 MADERA, que en su Artículo 08, expone los requisitos de resistencia y rigidez necesarios en muros de corte para limitar desplazamientos laterales, reducir la amplitud de las vibraciones y proporcionar arriostramiento a otros elementos para impedir su pandeo lateral frente a cargas laterales perpendiculares y paralelas al plano del entramado.

En el ámbito internacional, el código técnico español DB-SE-M Madera presenta en su Capítulo 10, numeral 10.4.2. consideraciones específicas adicionales para el funcionamiento como muro-diafragma de entramados de madera con tableros fijados en su perímetro.

Para la evaluación de las características de este sistema, se tomará como referencia el sistema de paneles prefabricados ModuPLAK de Fca. Peruana Eternit S.A.

1.2. Delimitación de la Investigación

La presente investigación realizará el estudio comparativo del comportamiento estructural entre un módulo temporal de vivienda fabricado con el sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno, y otro fabricado con el sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento, considerándose para su modulación las condiciones climáticas de la Costa Norte del Perú (temperatura, viento, humedad y precipitación) y las dimensiones básicas admisibles en planta y elevación para asegurar el confort de sus habitantes durante su uso temporal.

1.2.1. Delimitación Espacial

La ubicación propuesta del proyecto comprende los departamentos de la Costa Norte del Perú (Piura, La Libertad y Lambayeque), en particular las provincias localizadas en la zona bioclimática Desértico, definida por la norma técnica EM.110 *Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética*, y que se detallan en la Tabla 7, las cuales concentran los mayores daños y pérdidas por la ocurrencia del fenómeno de El Niño, que, en los últimos 20 años, ha representado el fenómeno natural de mayor envergadura. Asimismo, la selección de la zona bioclimática tiene por propósito considerar en el diseño de los MTV's las características climáticas asociadas.

Tabla 7

Ubicación de Provincias en Zona Bioclimática Desértico

Departamento	Provincias
Piura	Paíta, Sechura y Piura
La Libertad	Ascope, Chepén, Gran Chimú y Virú
Lambayeque	Lambayeque

Nota. Tomado de “Norma E.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Título III.4 Instalaciones Eléctricas y Mecánicas, 2014, pág.12-14.

1.2.2. Delimitación Temporal

Este trabajo de investigación emplea la normativa nacional vigente al año 2019, es decir el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en su título III Edificaciones, considerando la actualización vigente de cada norma técnica citada a lo largo de su desarrollo. Asimismo, el planteamiento de los módulos temporales de vivienda integra la información generada en materia de viviendas de emergencia en el país a raíz del fenómeno El Niño Costero 2017.

1.2.3. Delimitación Social

Los principales beneficiarios de la implementación de módulos temporales de vivienda son las familias afectadas por la ocurrencia de fenómenos naturales. Evaluar la idoneidad técnica de los sistemas evaluados en el presente estudio para la fabricación de MTV's permitirá garantizar el confort y seguridad de los usuarios.

1.2.4. Delimitación Teórica

El dominio teórico en el que se enmarca el problema de investigación comprende el concepto de vivienda de emergencia, las características de la vivienda de emergencia, el empleo de sistemas modulares prefabricados como viviendas de emergencia, los antecedentes de la implementación de módulos temporales de vivienda en el Perú, las exigencias y/o requisitos técnicos mínimos a considerar en la fabricación de módulos temporales de vivienda y su relación con la zona bioclimática en la que serán implementados, pues a lo largo del territorio nacional se tiene una diversidad de condiciones climáticas y ambientales que deben ser incluidas en la selección de los materiales y definición de las dimensiones de las soluciones propuestas. La presente investigación se centra en el estudio del comportamiento estructural del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno y el sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento. En complemento, se realiza un análisis de confort térmico y un análisis económico de las alternativas.

1.3. Planteamiento del Problema

1.3.1. Descripción del Problema

En la opinión de Rocha (2007), es una evidente problemática que, en el Perú, los perjuicios económicos y sociales producidos por los desastres asociados al FEN son cada vez más grandes, a medida que aumenta el número de infraestructuras vulnerables, se intensifica el desordenamiento territorial, se incrementan las construcciones precarias y continua el crecimiento de la densidad poblacional, todo lo cual se produce dentro de un marco de escasez de recursos económicos.

Esta realidad quedó expuesta con la ocurrencia del fenómeno El Niño Costero 2017. El Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (2017), en adelante SINPAD, reveló que este dejó como saldo alrededor de 231 874 damnificados; 1 129 013 afectados y 143 fallecidos, además de 25 700 viviendas colapsadas, 258 545 viviendas afectadas y 23 280 viviendas en estado de inhabitabilidad, afectando principalmente la Costa Norte del Perú, en particular Piura, departamento que concentró el 32% del total de damnificados y afectados.

Ante esta situación, el MVCS dispuso de un procedimiento para la entrega de MTV's en casos de Declaratoria de Estado de Emergencia o en situación de emergencia, a fin de salvaguardar la vida e integridad de las familias damnificadas y el patrimonio público y privado, en tanto se promuevan soluciones definitivas o permanentes que reestablezcan la calidad de vida de la población. Posteriormente, el Estado Peruano autorizó al MVCS mediante los Decretos de Urgencia D.U.N.° 004-2017 y D.U.N.° 008-2017, la adquisición de bienes y servicios para la entrega de MTV's con la finalidad de brindar una atención oportuna a los damnificados por la ocurrencia de lluvias y peligros asociados. Sin embargo, los esfuerzos realizados para garantizar el abastecimiento masivo requerido, no fueron suficientes para atender la demanda, generándose malestar en los usuarios finales por la calidad de los materiales y tiempo de entrega de los MTV's.

1.3.2. Estructuración del Problema

El limitado conocimiento del comportamiento estructural, nivel de confort térmico otorgado, costo estimado, y en general, de los requisitos técnicos mínimos que debe cumplir un módulo temporal de vivienda, genera una carencia de alternativas elegibles en el mercado nacional cuyas características sean acordes a las condiciones climáticas de las zonas afectadas por desastres, respaldados por expedientes técnicos que acrediten su calidad, seguridad y funcionalidad.

Esta situación conlleva a un déficit en la adquisición y distribución de módulos temporales de vivienda, además de restringir la conformación de un banco de proyectos que permita agilizar la implementación de soluciones temporales en situaciones de emergencia y así brindar una respuesta rápida y eficiente en casos de desastres, evitando someter a la población a condiciones de hacinamiento y exposición de su salud debido a la vulnerabilidad e inseguridad de las carpas.

En tal sentido, evaluar las alternativas existentes en el país para la fabricación de módulos temporales de vivienda, tales como el sistema de paneles sándwich y el sistema de entramados de madera, y adecuarlas técnicamente en función de cada zona afectada, constituye una necesidad.

1.3.3. Problema General

¿Cuál de las alternativas evaluadas presenta un mejor comportamiento estructural como módulo temporal de vivienda considerando las condiciones climáticas y de confort básico establecidas por la ubicación del proyecto?

1.3.4. Problemas Específicos

- ¿Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda cumplen con los requisitos de análisis y diseño estructural establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto?

¿Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda cumplen con los requisitos de confort térmico establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto?

¿Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda tienen un costo de fabricación competitivo de acuerdo al mercado?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Analizar cuál de las alternativas evaluadas para la fabricación de módulos temporales de vivienda presenta un mejor comportamiento estructural frente a las sollicitaciones laterales y de gravedad, estáticas y dinámicas, establecidas por la ubicación del proyecto.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el análisis y diseño estructural de 01 MTV fabricado en base al sistema de paneles sándwich y 01 MTV fabricado en base al sistema de entramados de madera, para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa nacional vigente.
- Realizar el análisis de confortabilidad térmica de 01 MTV fabricado en base al sistema de paneles sándwich y 01 MTV fabricado en base al sistema de entramados de madera, para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa nacional vigente.
- Realizar un análisis de los costos y plazos estimados para la fabricación de 01 MTV en base al sistema de paneles sándwich y 01 MTV en base al sistema de entramados de madera.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

La alta demanda de viviendas de emergencia en situaciones de desastre, y la necesidad imperiosa de proporcionar un espacio habitable transitorio a las familias afectadas bajo adecuadas condiciones de confort y seguridad, justifica la evaluación de las alternativas existentes en el mercado para este fin. La realización de un estudio comparativo del comportamiento estructural entre un módulo temporal de vivienda fabricado con el sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno, y otro fabricado con el sistema de entramados de madera revestidos con

fibrocemento, considerando en su modulación las condiciones climáticas de la Costa Norte del Perú (temperatura, viento, humedad y precipitación) y las dimensiones básicas admisibles en planta y elevación para asegurar el confort de sus habitantes durante su uso temporal, permitirá profundizar el conocimiento y difundir las características mecánicas de dos sistemas constructivos no convencionales, en adelante SCNC.

Los resultados obtenidos, sustentarán técnicamente la idoneidad de cada sistema, en aras de atender eficientemente el déficit en la implementación de módulos temporales de vivienda durante situaciones de emergencia, con lo cual se contribuirá en la reducción del impacto causado sobre la calidad de vida de la población afectada.

1.6. Alcances y Limitaciones de la Investigación

- a) Las características de los materiales y las consideraciones estructurales de los MTV están directamente relacionadas con zona bioclimática en la que se ubicarán, por lo que su implementación en departamentos distintos a los indicados estará sujeta a un nuevo análisis.
- b) Al no tenerse una norma específica para MTV, se genera un vacío técnico – legal, generando que en la medida de lo posible se apliquen los criterios para una vivienda definitiva.
- c) Se desestima la influencia de las instalaciones interiores (eléctricas, sanitarias, mecánicas u otras) en el análisis y diseño estructural, y en el análisis de confortabilidad térmica.
- d) Las propiedades los materiales consideradas en el análisis estructural del sistema de entramados de madera, son valores promedio proporcionados por los fabricantes. No se han realizado ensayos específicos sobre un espécimen a escala del panel propuesto, el cual será necesario para la homologación del sistema prefabricado.
- e) Para la evaluación económica, se ha considerado la alternativa de fijación al suelo más desfavorable, constituida por el empleo de una plataforma apoyada sobre pedestales.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

Las alternativas evaluadas para la fabricación de MTV's presentan un comportamiento estructural aceptable, considerando las condiciones climáticas y de confort básico establecidas por la ubicación del proyecto.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda satisfacen los requisitos de análisis y diseño estructural establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto.
- Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda satisfacen los requisitos de confort térmico establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto.
- Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda tienen un costo de fabricación competitivo de acuerdo al mercado.

1.8. Metodología y Tipo de Investigación

El enfoque de la presente investigación es analizar y comparar las características técnicas, los parámetros estructurales y funcionales, así como el costo de fabricación de módulos temporales de vivienda en base a los sistemas constructivos evaluados. Se pretende describir y analizar dos alternativas por separado, cada una representada por una denominación como sigue:

- a) **Alternativa A:** Sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno
- b) **Alternativa B:** Sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento

El análisis tiene por finalidad la obtención de indicadores numéricos que permitan caracterizar el comportamiento estructural y nivel de confort térmico de cada alternativa, adaptándose este proceso a una Investigación Descriptiva.

1.8.1. Diseño de la Investigación

De acuerdo a los propósitos de la investigación y a su naturaleza aplicativa, se empleará la metodología Descriptiva-Explicativa.

Las etapas a seguir para la realización de la investigación comprenden la examinación de las características técnicas de cada sistema constructivo y sus antecedentes en el Perú, la definición de los lineamientos a emplear para el dimensionamiento y modulación de los MTV considerando la experiencia nacional e internacional, y posterior establecimiento de las dimensiones en planta y elevación, así como la tipología de cubierta y plataforma a emplear.

Para el desarrollo de la etapa de modelamiento, y análisis estructural se utilizarán herramientas computacionales, mientras que para el diseño estructural se realizará un procesamiento manual de los resultados, que incluye cálculos de acuerdo a los procedimientos establecidos por cada normativa nacional aplicable.

En la etapa de análisis de confort térmico, se establecerán las propiedades térmicas de los materiales que componen los paneles característicos de los sistemas evaluados, calculándose la transmitancia térmica de los cerramientos del módulo temporal de vivienda (muros, techo y piso).

Posteriormente, en la etapa de análisis económico se realizará un presupuesto desgregado para estimar el costo unitario de producción de cada alternativa, en base a un rendimiento que será definido en este capítulo.

Una vez obtenidos los resultados de las etapas de análisis, se presentará la información en tablas organizadas, a fin de comparar los parámetros característicos de los sistemas evaluados para su respectiva discusión, y emisión de las conclusiones y recomendaciones.

1.8.2. Definición y Operacionalización de las Variables

Tabla 8

Operacionalización de las Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida	Escala	Valor Final
Variable Independiente							
Sistema Constructivo empleado en la fabricación de un módulo temporal de vivienda.	Conjunto de elementos (materiales, componentes, técnicas, herramientas, otros) característicos de un tipo de edificación, que constituyen una organización funcional.	Es el tipo de sistema prefabricado seleccionado para la fabricación de un MTV.	Sistema de Paneles Sandwich o Sistema de Entramados de Madera	Zona Bioclimática Area Habitable Altura Min. Altura Max. Cobertura Plataforma	No aplica m ² m m No aplica No aplica	Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo	Desértico = 18.00 ≥ 2.60 ≥ 2.60 Un agua Elevada
Variables Dependientes							
Comportamiento Estructural del módulo temporal de vivienda.	Respuesta de un tipo de edificación antes cargas externas.	Son los parámetros derivados del análisis estructural del MTV.	Respuesta Estructural	Derivas Deflexión – Techo Deflexión - Piso Esfuerzos Admisibles	m/m m m Kg/cm ²	Intervalo Intervalo Intervalo Intervalo	≤ 0.010; ≤ 0.010 ≤ 0.010; ≤ 0.017 ≤ 0.003; ≤ 0.004 De acuerdo al RNE para cada tipo de elemento
Confort Térmico del módulo temporal de vivienda.	Condición de la mente que expresa satisfacción del ambiente térmico.	Son los parámetros derivados del análisis de confort térmico del MTV.	Nivel de Confort Térmico	Transmitancia Térmica	W/m2.K	Intervalo	<u>Aceptables</u> Muros: ≤ 3.20 Techo: ≤ 2.20 Piso: ≤ 2.63
Costo Unitario del módulo temporal de vivienda.	Valor monetario asociado a la producción de un MTV.	Es el costo estimado de fabricación de un MTV en base a cada sistema evaluado.	Precio	Costo Unitario	S/.	Intervalo	MTV ≤ 8,500

Nota. Elaboración propia.

1.8.3. Matriz de Consistencia

Tabla 9
Matriz de Consistencia

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Sub Variables
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Independiente	
¿Cuál de las alternativas evaluadas presenta un mejor comportamiento estructural como módulo temporal de vivienda considerando las condiciones climáticas y de confort básico establecidas por la ubicación del proyecto?	Analizar cuál de las alternativas evaluadas para la fabricación de MTV's presenta un mejor comportamiento estructural frente a las solicitaciones laterales y de gravedad, estáticas y dinámicas, dadas por la ubicación del proyecto.	Las alternativas evaluadas como MTV's presentan un comportamiento estructural aceptable, considerando las condiciones climáticas y de confort básico establecidas por la ubicación del proyecto.	Sistema Constructivo empleado en la fabricación de un MTV.	Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno. Sistema de Entramados de Madera revestidos con fibrocemento.
Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Dependientes	
¿Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda cumplen con los requisitos de análisis y diseño estructural establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto?	Realizar el análisis y diseño estructural de MTV's fabricados en base al sistema de paneles sándwich y al sistema de entramados de madera, para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa nacional vigente.	Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda satisfacen los requisitos de análisis y diseño estructural establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto.	Comportamiento Estructural del MTV.	Derivas, de acuerdo a la norma técnica E.030. Deflexiones Máximas y Esfuerzos Admisibles, de acuerdo a las normas técnicas E.010 y E.090.
¿Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda cumplen con los requisitos de confort térmico establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto?	Realizar el análisis de confortabilidad térmica de MTV's fabricados en base al sistema de paneles sándwich y al sistema de entramados de madera, para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa nacional vigente.	Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda satisfacen los requisitos de confort térmico establecidos por la normativa nacional para la ubicación del proyecto.	Confort Térmico del MTV.	Transmitancia Térmica de acuerdo a la norma técnica EM.110.
¿Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda tienen un costo de fabricación competitivo de acuerdo al mercado?	Realizar un análisis de los costos y plazos estimados para la fabricación de 01 MTV en base al sistema de paneles sándwich y 01 MTV en base al sistema de entramados de madera.	Las alternativas evaluadas como módulo temporal de vivienda tienen un costo de fabricación competitivo de acuerdo al mercado.	Costo Unitario de Fabricación del MTV.	Costo Unitario por Componente del MTV.

Nota. Elaboración propia.

CAPITULO 2 :

Marco Teórico

2.1. Módulo Temporal de Vivienda

En términos del Centro de Estudios y Prevención de Desastres (2013), en adelante PREDES, una vivienda temporal puede definirse como una estructura transitoria o conjunto de facilitaciones de ayuda ante desastres por eventos naturales o producidos por el hombre, que albergan a personas, familias o grupos de familias para proveer refugio y resguardo frente a la pérdida de viviendas por fuerzas externas a ellos. Estas viviendas consideran un área básica admisible para su uso y correcto funcionamiento con el debido nivel de confort para la realización de las actividades físicas y mentales de sus habitantes, de manera temporal, hasta el paso de la emergencia y el retorno o restablecimiento de la propiedad siniestrada.

En agosto del 2012, a través del Proyecto FOCAPREE⁴, se lanzó el Concurso Internacional de Viviendas Temporales, el cual logró recolectar 54 modelos de vivienda diseñados en función a 04 escenarios y entornos de riesgo (asociados a las regiones más representativas del Perú; Cusco, Piura, Puno y San Martín). Esto permitió que años más tarde, durante la atención de la emergencia generada por El Niño Costero 2017, el Estado contratara la fabricación y distribución de módulos temporales de vivienda basado en el expediente técnico de la propuesta ganadora.

Todo sistema constructivo propuesto como módulo temporal de vivienda debe cumplir como mínimo, con los lineamientos y estándares de calidad establecidos a nivel internacional, descritos en el siguiente acápite.

⁴ El proyecto “Fortaleciendo Capacidades para la Preparación y Prevención Ante Emergencias” (FOCAPREE) es una iniciativa de CARE Perú para subsanar vacíos en la preparación y respuesta a emergencias en el Perú.

2.1.1. Lineamientos de los Módulos Temporales de Vivienda

La Asociación Esfera (2018), presenta en su Manual Esfera⁵, normas, lineamientos y criterios de diseño recomendados para espacios habitables de acuerdo a experiencias internacionales y nacionales. Considerando la normatividad vigente a la fecha, son principalmente los siguientes:

- Espacio habitable mínimo de 3.50 m²/persona, sin contar con el espacio destinado a la cocina e instalaciones de baño y saneamiento.
- Espacio habitable mínimo de 4.50-5.50 m²/persona en climas fríos o entornos urbanos, el cual incluye espacios de cocina e instalaciones de baño y saneamiento.
- Altura mínima de 2.00 m del suelo al techo en climas templados, y de 2.60 m en climas calurosos, medida con referencia a su punto más elevado.
- Estructura sencilla, utilizando tecnologías con sistemas constructivos alternativos, validados según el entorno geográfico al cual será destinado.
- En climas cálidos y húmedos; proporcionar la máxima ventilación y reducir al mínimo la entrada de luz solar directa; emplear una techumbre inclinada a una o dos aguas para drenar el agua de lluvia, salvo en zonas vulnerables a fuertes vientos en donde deberá evaluarse la presión lateral ejercida; y emplear un material de construcción ligero y de baja capacidad térmica.
- En climas cálidos y secos; garantizar el confort térmico considerando el cambio de temperatura entre el día y noche mediante el empleo de un material ligero y aislado, o el empleo de materiales pesados previo análisis del comportamiento sísmico; orientar

⁵ El Proyecto Esfera (hoy Asociación Esfera) fue una iniciativa internacional de 1997 para elaborar un conjunto de normas mínimas universales en ámbitos esenciales de respuestas humanitarias. El resultado fue el Manual Esfera, la iniciativa más antigua del campo de las normas humanitarias, cuyo objetivo principal es mejorar la calidad de la respuesta ante situaciones de desastre.

los vanos en la dirección de los vientos calientes dominantes, y sellar las juntas y uniones para evitar la penetración de polvo y vectores por los intersticios.

- En climas fríos, reducir al mínimo el volumen interno de aire; emplear materiales pesados de alta capacidad térmica si el uso del módulo es continuo, y materiales ligeros, aislados y de baja capacidad térmica si el uso del módulo se restringe a la noche; y orientar los vanos de modo de minimizar el flujo de aire en el interior de la vivienda.
- Garantizar un uso prolongado (3 años), pudiendo ser posteriormente incorporada a la estructura de la vivienda permanente.
- La adquisición de los materiales y equipos, almacenaje, implementación y uso (incluir material industrial, local y/o mixto con aportes locales y municipales) deben ser accesibles en situaciones dramáticas de tiempo y necesidad.
- Incluir el enfoque de gestión de riesgo (reducción de vulnerabilidades por exposición y resiliencia).
- Incorporar alternativas de provisión de agua segura y saneamiento (individual o colectivo), así como incorporar conexiones de electricidad, con insumos provistos por gestión propia de las autoridades locales.

2.1.2. Criterios de Diseño

Los criterios mínimos a considerarse para el diseño de un módulo temporal de vivienda son:

- a. Localización y Ubicación: Para el caso específico de la presente investigación, el proyecto se ubicará en el departamento de Piura, de clima cálido, desértico y oceánico.
- b. Dimensionamiento: Los módulos temporales de vivienda propuestos, consideran un área habitable de 18.00 m² (en base a una familia promedio compuesta por 05 integrantes), cuya distribución será la siguiente:



Figura 1. Distribución Espacial de Módulo Temporal de Vivienda

- c. Tiempo de Instalación: Los tiempos estimados para la instalación de los módulos temporales de vivienda serán en promedio, a razón de 5 unidades por día. Su implementación considera un proceso de ensamblado continuo que no requiere mano de obra calificada. Se considera entregar una vivienda de transición para un uso prolongado de al menos 3 años.
- d. Sistema Constructivo y Diseño: Se recomienda el planteamiento de un diseño ligero, de armado modular, en base a una tecnología industrial que permita un proceso de ensamblaje rápido y de bajo costo. Asimismo, se debe considerar criterios de sismo resistencia y confort térmico, y una volumetría aceptada por la población y el usuario en relación con el mobiliario usado, según los usos y costumbres de la región.
- e. Almacenaje: El sistema propuesto deberá facilitar el transporte y embalaje de los módulos temporales de vivienda, contar con un despiece o seccionamiento explicado fácilmente en manuales, con piezas numeradas y codificadas.

2.2. Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno

El panel sándwich es un material estructural compuesto que está constituido por dos láminas metálicas galvanizadas o zincoaluminizadas, y un relleno de poliestireno expandido, unidos firmemente mediante un adhesivo presurizado. De esta manera, se combina las propiedades mecánicas del acero estructural con las propiedades térmicas y acústicas del poliestireno expandido, consiguiendo además a través del tipo de unión que los componentes del panel actúen en conjunto como un cuerpo simple frente a solicitaciones de carga horizontal y vertical, contribuyendo en la resistencia y rigidez de la sección.

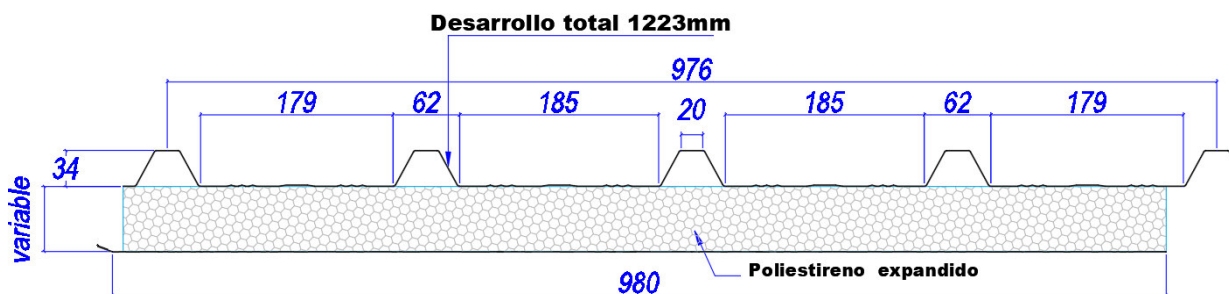


Figura 2. Panel Techo (Termotecho) de Ancho Útil 976 mm

El sistema está compuesto por un arreglo de paneles muro y paneles techo, unidos entre sí y fijados a la plataforma través de accesorios de lámina metálica. La plataforma metálica puede estar apoyada sobre pedestales de concreto o sobre una losa de concreto, en dependencia de las características de la zona del proyecto.

Los paneles muro están unidos entre sí mediante uniones machihembradas y perfiles metálicos, en tanto que la unión entre paneles muro y paneles techo se realiza a través de ángulos metálicos tipo L (exteriores e interiores), los cuales son fijados mediante el uso de tornillos autoperforantes.

Los perfiles y accesorios de lámina metálica están anclados a la cimentación o plataforma metálica mediante canales U, los cuales permiten la fijación del panel muro a la base.

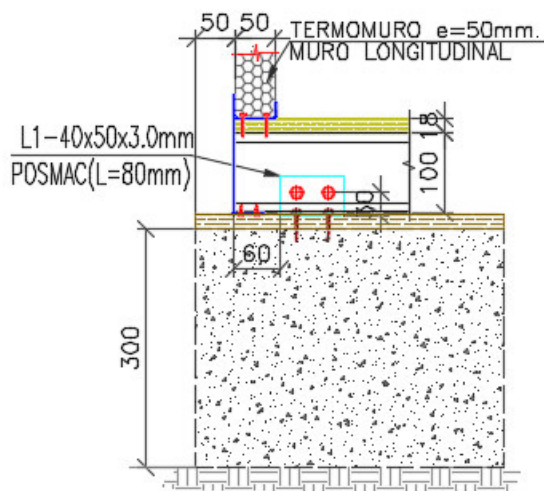


Figura 3. Detalle de la Unión Panel Muro (Termomuro), Plataforma y Pedestal

2.2.1. Componentes del Panel Sándwich

a. Lámina Metálica de Acero Galvanizado

Es una lámina de acero de espesor variable producida por un proceso de inmersión en caliente, el recubrimiento galvanizado puede ser de 99% de zinc, o puede emplearse también un recubrimiento compuesto de 55% de aluminio y 43.5% de zinc. El aluminio proporciona la resistencia a la corrosión y una excelente reflectividad térmica; mientras que el zinc brinda la maleabilidad y la protección catódica para las áreas expuestas de la lámina como perforaciones o cortes realizados para la fijación a otros elementos.

La lámina metálica lleva también una capa de pintura que contribuye a incrementar su tiempo de vida útil dado que brinda una protección adicional contra la corrosión y otros agentes externos, generando además una superficie con mejor acabado. Las láminas metálicas pueden ser caracterizadas a través de sus principales propiedades mecánicas tales como el esfuerzo mínimo de fluencia, la resistencia mínima a tensión, y la elongación permisible, siendo los valores de estas propiedades dependientes del grado de acero que se utilice.

Tabla 10
Propiedades Mecánicas del Acero Estructural

Grado	Esfuerzo de Fluencia Min. (MPa)	Resistencia a Tensión Min. (MPa)	Elongación en 2in Min. (%)
33	227.53	310.26	20
37	255.11	358.53	18
40	275.79	379.21	16

Nota. Adaptado de “ASTM A792 / A792M-10(2015), Standard Specification for Steel Sheet, 55 % Aluminum-Zinc Alloy-Coated by the Hot-Dip Process”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.

b. Capa Adhesiva

Las láminas metálicas se fijan al núcleo de poliestireno expandido mediante un adhesivo elastómero sintético en aerosol de grado industrial con fórmula de secado rápido que permite un pegado instantáneo y permanente, a diferencia de los pegamentos a base de poliestireno que son de secado y fraguado lento o de los adhesivos de base neopreno que degradan al poliestireno afectando sus propiedades aislantes. Los adhesivos presurizados son recomendables para la unión de sustratos tales como el poliestireno y la lana de vidrio, cuyas aplicaciones en el ámbito de la construcción son cada vez mayores.

La resistencia al esfuerzo cortante para uniones de 6.45 cm^2 evaluadas a una velocidad de 5.00 cm/min a 24°C, se muestran en la Tabla 11:

Tabla 11*Resistencia al Esfuerzo Cortante del Adhesivo Presurizado 3M Cilindro 70*

Sustratos Adheridos	Resistencia al Esfuerzo Cortante (psi)
ABS ⁶ a ABS (2 caras)	123
ABS a ABS (1 cara)	64
Acrílico a Acrílico (2 caras)	152
Aluminio a Aluminio (2 caras)	79
Madera a Madera (2 caras)	193
Madera a Madera (1 cara)	92
Acero Galvanizado a Acero Galvanizado (2 caras)	87
Polipropileno a Polipropileno (2 caras)	75

Nota. Adaptado de “Ficha Técnica del Adhesivo Presurizado 3M Cilindro 70”, 3M.

c. Poliestireno Expandido (EPS)

Es un material plástico derivado del petróleo, ligero y resistente a la humedad. La Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (1992), en adelante ANAPE, lo define como un material plástico celular y rígido, fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. En el Perú, el poliestireno expandido se denomina comúnmente tecnopor.

Las densidades más comunes de fabricación oscilan entre 12 a 48 kg/m³, sin embargo, es necesario precisar que el valor de la densidad varía por cada bloque dentro del mismo ciclo de producción a pesar de los controles de calidad. La densidad varía también de acuerdo al tiempo de secado luego de la etapa de moldeo y por condiciones atmosféricas tales como la humedad.

⁶ ABS son las siglas de acrilonitrilo, butadieno y estireno. Es un material plástico utilizando principalmente para fines mecánicos que combina la resistencia y rigidez de los polímeros de acrilonitrilo y estireno con la dureza de la goma de polibutadieno.

Tabla 12
Valores de Densidades del Poliestireno Expandido

Clasificación	Tipo													
	XI	I	VIII	II	IX	XIV	XV	XII	X	XIII	IV	VI	VII	V
Densidad Min (kg/m ³)	12	15	18	22	29	38	48	19	21	26	23	29	35	48

Nota. Adaptado de “ASTM C578-18, Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.

El valor de la densidad del poliestireno expandido constituye un indicador básico de su calidad, y de sus propiedades mecánicas y de aislamiento térmico y acústico.

Tabla 13
Propiedades Mecánicas del EPS de Diferentes Densidades

Propiedades	Valor			
Densidad (kg/m ³)	15	25	40	50
Resistencia a la Tracción (KPa)	200	350	600	750
Resistencia a la Flexión (KPa)	200	400	700	900
Esfuerzo en Compresión a 10% Deformación (KPa)	90	180	320	400

Nota. Adaptado de “Handbook of Polymer Foams”, por Eaves, D., (2004).

2.2.2. Propiedades Mecánicas del Panel Sándwich

a. Resistencia a la Compresión de Paneles Muro

La resistencia a la compresión se define como el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento sin quebrarse o descomponerse. Para aquellos materiales en los que no se produce una falla al someterse a una carga de aplastamiento, INSTRON (s.f) indica que la resistencia a la compresión puede definirse como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material en una cantidad predefinida. En ambos casos, la resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga axial máxima entre el área de la sección transversal original de una probeta de ensayo.

Citando a Davies (2001), la resistencia a la compresión de un panel tipo sándwich depende de las propiedades del núcleo y de las láminas exteriores, así como de la adhesión entre estos elementos. Asimismo, esta resistencia se encuentra en función de las dimensiones del panel, las dimensiones de los componentes, del sistema estructural utilizado, de la longitud entre los apoyos y de los equipos de fijación.

Para definir las propiedades mecánicas del panel tipo sándwich, se tomará como referencia los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre un espécimen a escala en el Laboratorio de Estructuras del CISMID en el año 2009 a solicitud de la empresa Nexos Comerciales S.A.C, en adelante NEXCOM. En tal oportunidad, se ensayaron paneles sándwich de 2.30 m de altura, 1.20 m de ancho y 5.10 cm de espesor con la finalidad de determinar la carga máxima, el esfuerzo máximo, el módulo de elasticidad y el tipo de falla frente a cargas de compresión axial (ver Anexo B). Este ensayo de compresión consistió en la aplicación de una carga uniaxial a través de un sistema hidráulico que transmite uniformemente la carga a lo ancho del panel a través de una viga rígida, como se muestra en la Figura 4.

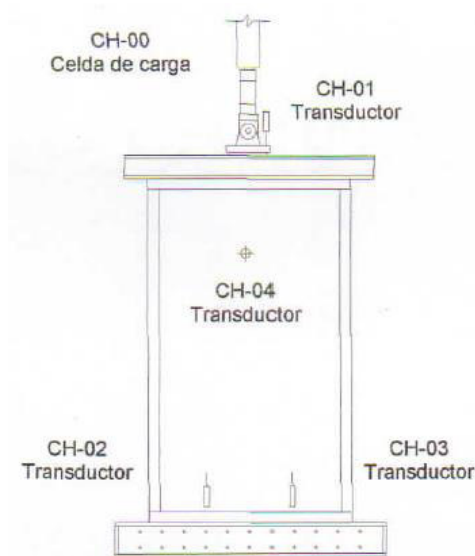


Figura 4. Esquema del Ensayo de Compresión Axial para Panel Sándwich

Nota. Tomado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág.09.

La Tabla 14 resume los resultados obtenidos para cada probeta sometida al ensayo:

Tabla 14

Resultados del Ensayo de Compresión Axial en Paneles Sándwich

Probeta	P máx. (Ton)	σ máx. (Kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kgf/cm ²)
1	4.18	6.95	5 872
2	4.78	7.95	5 459
3	3.95	6.58	5 655
Promedio	4.30	7.17	5 662

Nota. Adaptado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pag.12.

Se pudo observar que la falla en los paneles ocurrió por un aplastamiento local en el confinamiento horizontal superior, debido a la mayor rigidez de la viga del equipo de ensayo respecto al perfil horizontal de confinamiento, no presentándose deformación en el panel debajo del accesorio de confinamiento. Asimismo, se produjo una falla por pandeo local del perfil de confinamiento vertical, debido a una separación excesiva entre los remaches, por lo que, para obtener una longitud de esbeltez menor, es necesario reducir la distancia entre estos elementos.

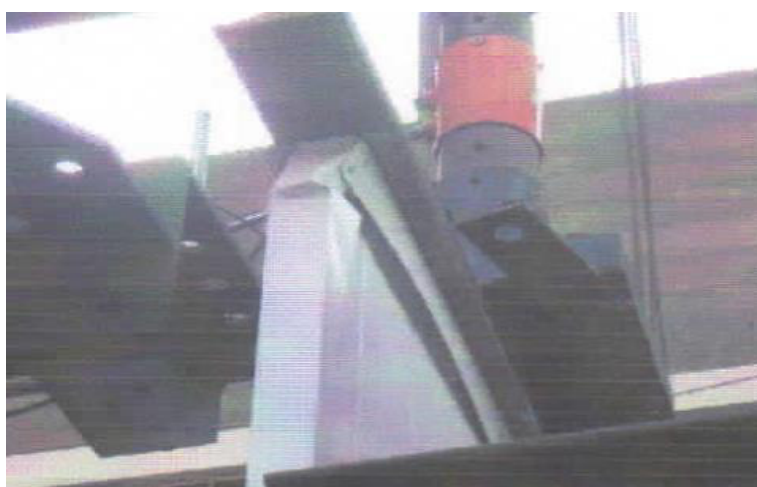


Figura 5. Falla por Aplastamiento en la Esquina Superior Izquierda del Panel Muro

Nota. Tomado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág. 13.

b. Resistencia a la Flexión en Paneles Techo

La resistencia a la flexión es el esfuerzo máximo de la fibra extrema desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o rompa en un ensayo de flexión. En el caso de materiales en los que no se produce una falla bajo el ensayo a flexión simple, INSTRON (s.f) señala que es posible utilizar la resistencia de fluencia en lugar de la resistencia a la flexión para caracterizarlos

La resistencia a la flexión de un material está relacionada con su rigidez, definida como la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin deformarse o desplazarse considerablemente. Esta rigidez a la flexión se determina como el cociente entre la carga aplicada entre la deflexión que experimenta el elemento estructural.

Los paneles sándwich son utilizados con frecuencia en coberturas o cimbras debido a que presentan una alta rigidez a la flexión en relación a su bajo peso específico. Padilla, Alvarez, & Panamá (2014) sostienen que el panel sándwich tiene un comportamiento análogo al de una viga H, de tal forma que las láminas metálicas, al estar alejadas del eje neutro de la sección, resisten los esfuerzos de flexión y pandeo, estando una de las láminas a compresión y la otra a tracción. El núcleo del panel se encarga de resistir las cargas cortantes, y su espesor determina la separación entre las láminas metálicas y por tanto, el momento de inercia de la sección.

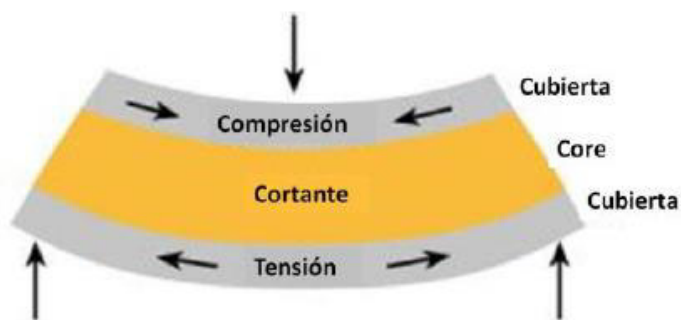


Figura 6. Comportamiento de Elementos de un Panel Tipo Sándwich Sometido a Flexión

Nota. Adaptado de “Desarrollo de Paneles Tipo Sándwich”, por Padilla, A.; Alvarez, J.A. & Panamá, I., 2014, XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, pág. 02.

La rigidez a la flexión de un panel sándwich se define como el producto de su módulo de elasticidad (E) y el momento de inercia de la sección (I). Para un panel simétrico, es decir con capas extremas idénticas, la rigidez a la flexión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$EI = \frac{E_s \times b \times t^3}{6} + \frac{E_s \times t \times d^2 \times b}{2} + \frac{E_p \times b \times c^3}{12}$$

Dónde:

E_s	: Módulo de Elasticidad de la Lámina Metálica
E_p	: Módulo de Elasticidad del Núcleo de Poliestireno
b	: Ancho del Panel Sándwich
d	: Distancia entre los Centroides de las Láminas Metálicas
t	: Espesor de las Láminas Metálicas
c	: Espesor del Núcleo de Poliestireno

Si se cumple la siguiente condición:

$$\frac{d}{t} > 6$$

Es posible afirmar que el aporte del núcleo del panel sándwich en la rigidez de la sección es mínimo respecto al aporte de las láminas metálicas, entonces la expresión se puede reducir a:

$$EI = \frac{E_s \times t \times d^2 \times b}{2}$$

Se observa entonces que el factor de mayor relevancia en la estimación de la rigidez a flexión del panel sándwich es la distancia entre los centroides de las láminas metálicas, la cual es directamente proporcional al espesor del núcleo del panel.

Para definir el valor de la resistencia a la flexión de un panel sándwich, se tomará como referencia los resultados del ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras del CISMID. En el año 2009, se realizaron ensayos sobre paneles sándwich de 1.60 m de ancho, 5.10 cm de espesor y 3.95 m de luz libre (ver Anexo B), con los cuales se determinó la carga máxima, la deflexión máxima y la rigidez a la flexión de los mismos.

Los ensayos fueron realizados acuerdo a las especificaciones establecidas en la norma ASTM C-78, para lo cual se utilizó un aparato hidráulico apoyado sobre rodillos de acero a una distancia ubicada como luz libre, que transfiere la carga en 2 puntos situados en los tercios de luz del espécimen ensayado, como se ilustra en la Figura 7.

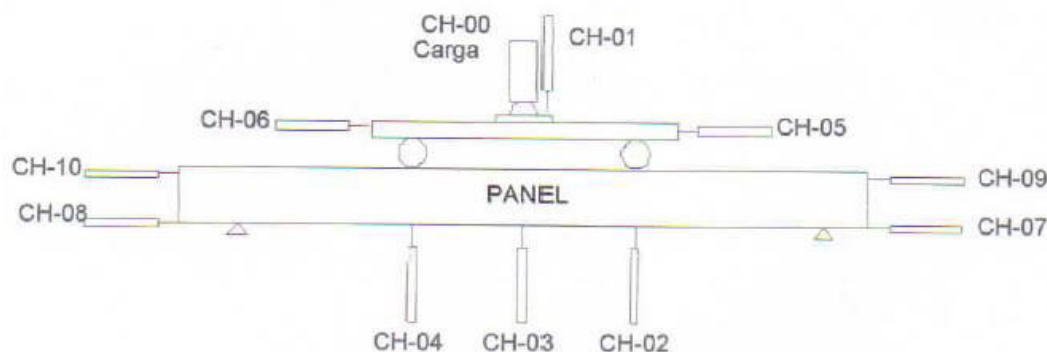


Figura 7. Esquema de Ensayo a Flexión para Panel Sándwich

Nota. Tomado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág. 15.

La Tabla 15 resumen los resultados de los ensayos de flexión realizados:

Tabla 15
Resultados del Ensayo a Flexión en Paneles Sándwich

Probeta	P máx. (Ton)	Deflexión Máxima (mm)
1	0.20	15.8
2	0.25	15.8
3	0.30	15.8
Promedio	0.25	15.8

Nota. Adaptado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág. 16.

En base a estos resultados y empleando los métodos para el cálculo de deflexiones establecidos por la mecánica de materiales, se obtiene que la rigidez a la flexión del panel sándwich ensayado es $1.73 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$.

Considerando que la deflexión admisible para carga viva de servicio en cubiertas metálicas expresado como una fracción de la luz libre (L) es de $L/250$, se puede deducir que para el espécimen ensayado esto representa una deflexión central de alrededor de 16mm. En la curva carga-desplazamiento mostrada en la Figura 8 se observa que esta deflexión se produce para una carga aproximada de 0.16 ton, lo que equivale a una sobrecarga de hasta 37.7 kg/m^2 .

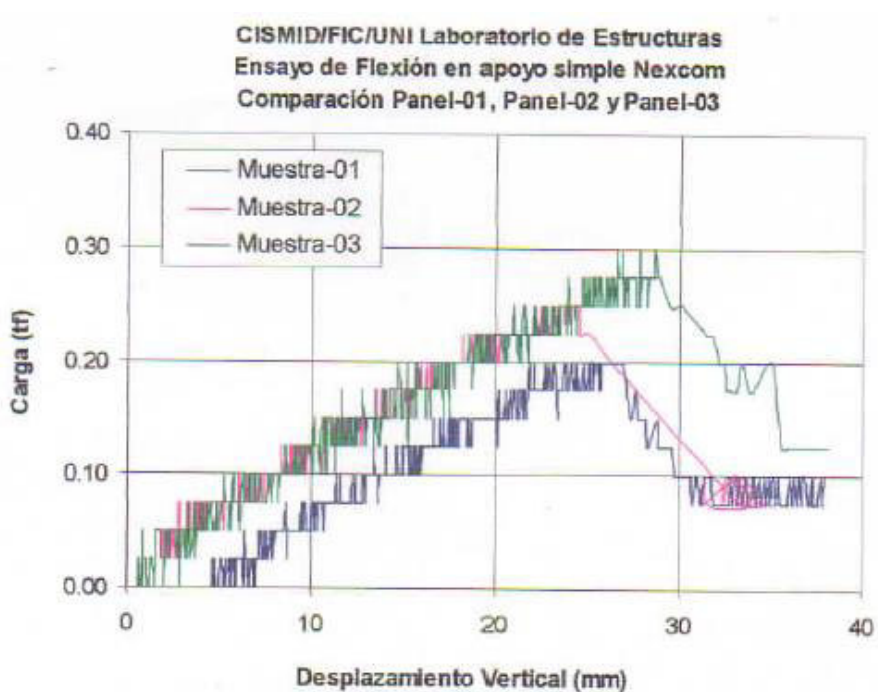


Figura 8. Curvas de Comportamiento de los paneles ensayados a flexión.

Nota. Tomado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág. 15.

c. Resistencia al Corte en Paneles Muro y Techo

La resistencia al corte es una propiedad que permite resistir el desplazamiento entre las partículas de un elemento al ser sometido a una fuerza externa actuando paralelamente al plano del área elemental. López (2002) establece que, en los paneles sándwich, el núcleo resiste los esfuerzos cortantes, por lo que deberá ser lo suficientemente rígidas al corte para que las láminas metálicas no se deslicen una sobre otra y el panel sándwich perderá su rigidez a la flexión.

Por lo tanto, el poliestireno expandido, núcleo del panel sándwich, debe tener la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos por corte inducidos por las cargas externas al módulo temporal de vivienda; asimismo, debe tener un módulo de corte suficientemente alto para prevenir la deformación excesiva del panel y evitar la falla por pandeo.

Para definir el valor de la resistencia al corte del panel sándwich, se tomará como referencia los resultados del ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras del CISMID. En el año 2009, se realizaron ensayos cíclicos de carga lateral sobre muros conformados por paneles sándwich de 2.40 m de altura, 3.45 m de ancho y 5.10 cm de espesor (ver Anexo B), con los cuales se determinó las condiciones críticas ante fuerzas laterales generadoras de esfuerzos de corte.

Los ensayos cíclicos fueron llevados a cabo considerando diferentes niveles de distorsión angular del nivel del entrepiso, con incrementos de deriva de 1/1000 hasta llegar a una distorsión de 1/65 aproximadamente; para los ensayos se utilizó un mecano de carga e instrumentación, el cual emplea un actuador electrohidráulico que es controlado a través de una computadora. Un esquema del ensayo se ilustra en la Figura 9.

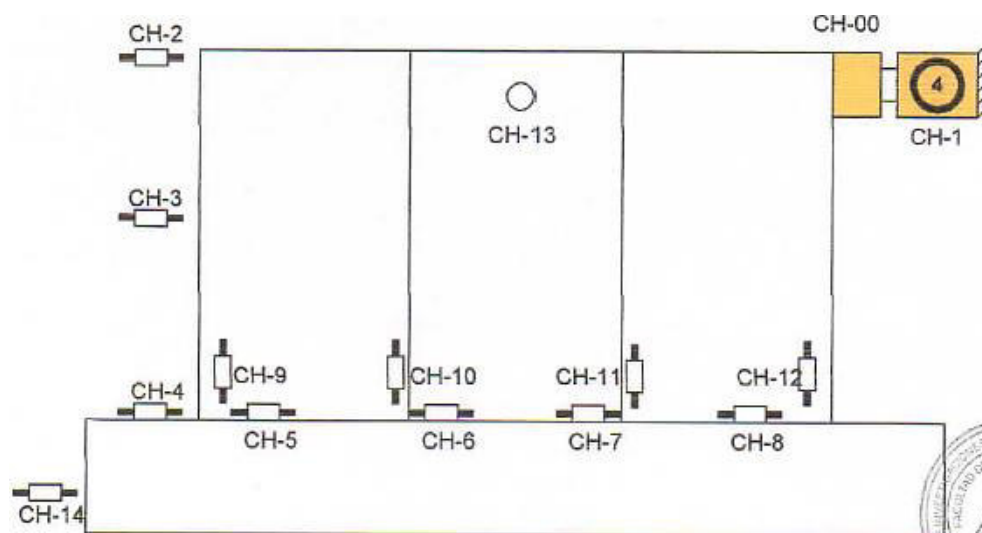


Figura 9. Distribución de sensores en el ensayo cíclico de carga lateral

Nota. Tomado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág. 17.

La Tabla 16 resume los resultados de esfuerzos de corte obtenidos en los ensayos de carga cíclica realizados sobre 03 muros conformados de panel sándwich:

Tabla 16

Resultados del Ensayo Cíclico en Muros de Paneles Sándwich

Muro	Distorsión	Esfuerzo Cortante (kg/cm ²)
1	1/200	1.07
2	1/200	0.94
3	1/200	1.11
Promedio	1/200	1.04

Nota. Adaptado de “Ensayos Estructurales al Sistema Modular Nexcom” por CISMID, 2010, pág. 17.

Se pudo observar que cuando se alcanza ese nivel de distorsión, se inicia el desprendimiento en la unión entre el muro y la cimentación, posteriormente se produce la falla y el muro pierde su verticalidad.

2.3. Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento

Es un sistema conformado por paneles prefabricados, elaborados a partir de madera aserrada (pino radiata), revestidos con placa de fibrocemento y rellenos con fibra o lana de vidrio.

La plataforma base se compone de vigas estructurales compuestas, con secciones unidas lateralmente; y correas transversales, apoyadas sobre pilotes de madera con el fin de aislar la estructura principal del terreno de fundación, contribuyendo a la durabilidad del módulo de vivienda. Sin embargo, también es posible fijar directamente los paneles muro del sistema a superficies niveladas de concreto o plataformas a través del uso de perfilería metálica.

Los paneles muro o de cerramiento están compuestos por bastidores de madera con revestimiento de placa de fibrocemento en ambas caras, que se ensamblan entre sí mediante parantes o pie derechos y soleras, o rieles y perfiles metálicos, y son independizados mediante juntas constructivas sobre las que se aplica selladores flexibles. En su interior, poseen un relleno de lana de vidrio, utilizado para incrementar las propiedades de aislamiento térmico y acústico.

La cobertura de este sistema modular está constituida por planchas onduladas de fibrocemento fijadas sobre paneles techo, compuestos a su vez por listones de madera o correas que configuran bastidores de madera revestidos con placa de fibrocemento en ambas caras y rellenos por lana de vidrio, el cual se une mediante clavos, conectores metálicos o ángulos de fijación a los paneles muro o de cerramiento.

El conjunto entre bastidores de madera y paneles de fibrocemento conforma un elemento autoportante, con rigidez para resistir acciones horizontales. Además, las características de los materiales empleados proveen una adecuada protección a los rayos del sol, lluvias, granizadas, vientos, evitan la propagación del fuego debido a la autoextinguibilidad del fibrocemento y disminuyen la pérdida de temperatura debido a la capacidad aislante de la fibra de lana.

Adicionalmente, pueden emplearse tratamientos superficiales complementarios que contribuyan a la resistencia de los entramados de madera ante hongos, termitas y otros agentes naturales.

Los elementos componentes de este sistema modular son fácilmente intercambiables otorgando facilidades para una rápida reposición ante eventuales daños, además de ser poco pesados agilizando su manipulación y transporte.

2.3.1. Componentes del Panel de Entramados de Madera

a. Placa de Fibrocemento

La placa de fibrocemento es una lámina plana de bordes rectos fabricada a alta temperatura, presión y humedad, compuesta de una mezcla de cemento, fibra celulosa, sílice, agua y agregados naturales. Los espesores comerciales oscilan entre los 4 mm y los 12 mm, determinándose el valor óptimo en base a las condiciones de uso.

El fibrocemento es un material imputrescible, impermeable e incombustible, por lo que su empleo en forma de cerramiento o revestimiento contribuye a la durabilidad de los paneles prefabricados y toda estructura sobre la que se emplee.

Las placas de fibrocemento se fijan perimetralmente a la estructura de sostenimiento, sean entramados de madera o perfiles de acero galvanizado, mediante clavos, pernos o conectores metálicos espaciados de tal manera que permitan asegurar el comportamiento como unidad del entramado, dado que la placa de fibrocemento restringe su deformación en el plano.

En el Perú, la norma vigente que regula los requisitos técnicos mínimos para la fabricación de placas de fibrocemento es la NTP-ISO 8336:2017⁷.

⁷ La NTP-ISO 8336:2017 Planchas planas de fibrocemento. Requisitos del producto y métodos de ensayo, reemplaza a la NTP-ISO 8336:1998 con Resolución Directoral N°043-2017-INACAL/DN.

Tabla 17*Propiedades Físicas y Mecánicas de la Placa de Fibrocemento SUPERBOARD*

Propiedad	Valor*	Unidad	Ensayo
Absorción	32.00	%	ASTM C1185
Densidad (Seca al Horno)	1.25	Kg/cm ³	NTC 4373
Contenido de Humedad	10.00	%	NTC 4373
Módulo de Elasticidad (E)			
<i>Seco al Ambiente Longitudinal</i>	7 902	MPa	ASTM D1037
<i>Seco al Ambiente Transversal</i>	6 799	MPa	ASTM D1037
<i>Saturado Longitudinal</i>	5 769	MPa	ASTM D1037
<i>Saturado Transversal</i>	4 738	MPa	ASTM D1037
Resistencia a la Flexión (MOR)			
<i>Seco al Ambiente Longitudinal</i>	15.00	MPa	NTC 4373
<i>Seco al Ambiente Transversal</i>	9.00	MPa	NTC 4373
<i>Saturado Longitudinal</i>	10.50	MPa	NTC 4373
<i>Saturado Transversal</i>	6.50	MPa	NTC 4373
Conductividad Térmica	0.26	W/m°K	ASTM C518
Resistencia a la Tracción			
<i>// Seco al Ambiente Longitudinal</i>	5.18	MPa	NTP-ISO 8336
<i>// Seco al Ambiente Transversal</i>	3.47	MPa	NTP-ISO 8336
<i>// Saturado Longitudinal</i>	4.37	MPa	NTP-ISO 8336
<i>// Saturado Transversal</i>	2.42	MPa	NTP-ISO 8336
Resistencia al Cortante			
\perp <i>Seco al Ambiente Longitudinal</i>	8.40	MPa	NTP-ISO 8336
\perp <i>Seco al Ambiente Transversal</i>	5.30	MPa	NTP-ISO 8336
<i>// Seco al Ambiente Longitudinal</i>	1.57	MPa	NTP-ISO 8336
<i>// Seco al Ambiente Transversal</i>	1.53	MPa	NTP-ISO 8336
Resistencia al Fuego			
<i>Índice de Expansión de la Llama</i>	0.00	-	ASTM E84
<i>Índice de Propagación de Humo</i>	0.00	-	ASTM E84

*Valores Promedio

Nota. Adaptado de “Ficha Técnica - Placa de Fibrocemento Superboard®”, por Eternit Andina, www.eternit.com.

b. Entramado de Madera

El material de mayor uso comercial para entramados de madera aserrada es el pino radiata, que, de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, en adelante RNE, se sitúa en el Grupo C de la clasificación estructural para maderas. En el sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento, los bastidores están compuestos por listones de sección de 2"x2", con un espaciamiento máximo de 0.60m entre los pie-derecho, unidos por soleras superiores e inferiores de la misma sección. El conjunto bastidor-revestimiento permite la concepción de un sistema de caja cerrada arriostrado que garantiza la acción como unidad. En la Figura 10 se esquematiza la composición básica de un panel muro, nótese la estructura del entramado en el mismo.

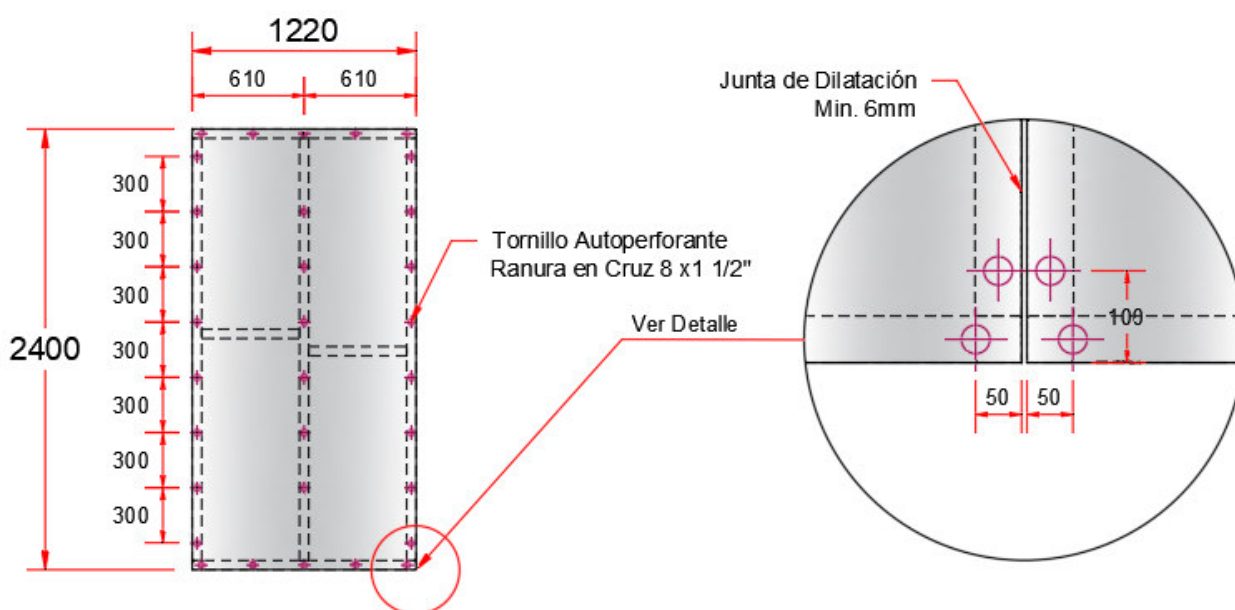


Figura 10. Panel Muro Estándar del Sistema de Entramados de Madera

Nota. Adaptado de “Ficha Técnica - Placa de Fibrocemento Superboard®”, por Eternit Andina, www.eternit.com.

El RNE (2014), en su norma técnica E.010, indica que, en la práctica mundialmente establecida, las estructuras de madera se diseñan por métodos de esfuerzos admisibles, esto es reduciendo la resistencia en lugar de incrementar las cargas aplicadas, a diferencia del método de resistencia última empleado en el diseño de concreto y acero estructural.

Tabla 18
Densidad Básica según Grupos Estructurales

Grupo	Densidad Básica (g/cm ³)
A	≥ 0.71
B	0.56 a 0.70
C	0.40 a 0.55

Nota: El criterio de agrupamiento es la resistencia, sin implicar ventaja relativa de un grupo sobre otro, un grupo no es superior o inferior a otro sino de características diferentes.

Nota. Tomado de “Norma E.010 Madera”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2018, pág.02.

Tabla 19
Módulo de Elasticidad según Grupos Estructurales

Grupo	Módulo de Elasticidad (E)* MPa (kg/cm ²)	
	E _{min}	E _{promedio}
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

(*) El módulo de Elasticidad (E) es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

Nota. Tomado de “Norma E.010 Madera”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2018, pág.02.

Dado que el empleo de la placa de fibrocemento garantiza la acción en conjunto del panel al constituir un diafragma de unión, es posible emplear el valor de E_{promedio} en lugar de E_{min} para el análisis y diseño del sistema de entramados de madera.

Tabla 20
Esfuerzos Admisibles según Grupos Estructurales

Grupo	Esfuerzos Admisibles*				
	MPa (kg/cm ²)				
	Flexión f _m	Tracción Paralela f _t	Compresión Paralela f _c //	Compresión Perpendicular f _c ⊥	Corte Paralelo f _v
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (210)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

(*) Para los esfuerzos admisibles en compresión deberán considerarse adicionalmente los efectos de pandeo.

Nota. Tomado de “Norma E.010 Madera”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2018, pág.03.

Los esfuerzos admisibles indicados en la Tabla 20, se determinan aplicando la siguiente expresión:

$$Esfuerzo\ Admisible = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times Esfuerzo\ Básico$$

Dónde:

- F.C : Coeficiente de Reducción por Calidad o Defectos
 F.T : Coeficiente de Reducción por Tamaño
 F.S : Coeficiente de Seguridad
 F.D.C : Coeficiente de Duración de Carga

Tabla 21
Coefficientes considerados para la Determinación de los Esfuerzos Admisibles

Coeficiente de Reducción	Flexión	Compresión Paralela	Corte Paralelo	Compresión Perpendicular
F.C	0.80	*	*	*
F.T	0.90	*	*	*
F.S	2.00	1.60	4.00**	1.60
F.D.C	1.15	1.25	*	*

(*) Incluido en F.S.

(**) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2.00.

Nota. Tomado de “Norma E.010 Madera”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2018, pág.06.

c. Sistema de Conexión

De acuerdo con Albala (2016), el mecanismo de unión entre el cerramiento y el bastidor influye directamente sobre la resistencia y rigidez lateral de los paneles, siendo que la unión colada o adherida resulta más efectiva que la unión mediante clavos para solicitaciones horizontales de acuerdo a resultados experimentales.

Como lo hacen notar Lacourt, Crisafulli & Mirasso (2014), dado que la configuración de los elementos de madera se realiza de modo tal que pueda obtenerse un comportamiento elástico; la unión mediante clavos representa una alternativa válida en sistemas donde se requiere disipar energía mediante la deformación de los componentes. Generalmente se tiende a prescindir de la consideración del aporte estructural del revestimiento en la rigidez y resistencia en los paneles debido a la inexactitud en la estimación de las características de las conexiones.

En la práctica, se hace necesario el empleo de perfilería metálica, pernos y accesorios, especialmente para fijar los paneles en las uniones muro a muro, muro a techo y muro a plataforma.

d. Fibra o Lana de Vidrio

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España - IDAE (2018), define a las lanas minerales como productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de origen pétreo, los cuales conforman un filtro que mantiene entre ellos aire atrapado, obteniendo un producto muy ligero que ofrece elevados niveles de aislamiento térmico, acústico y que es además incombustible debido a su naturaleza inorgánica.

La lana de vidrio se obtiene a través de un proceso en el cual se funde arena de sílice a altas temperaturas, posterior a lo cual se hila para la generación de fibras, que serán ligadas mediante una resina fenólica de fraguado térmico para formar un producto flexible. La lana de vidrio es reciclable, no es tóxica y no se ve afectada ante el contacto con el agua o la humedad.

Tabla 22
Características Higrométricas de la Lana de Vidrio

Material Aislante	Densidad ρ (kg/m³)	Transmitancia Térmica U (W/m².K)
Fibra de Vidrio	200	0.040
Lana de Vidrio (baja densidad)	11-14	0.043
Lana de Vidrio (media densidad)	19-30	0.037
Lana de Vidrio (alta densidad)	46-100	0.033
Lana de Vidrio con foil (*)	-	0.035
Lana Mineral (baja densidad)	30-50	0.042
Lana Mineral (media densidad)	51-70	0.040
Lana Mineral (alta densidad)	71-150	0.038
Lana Mineral (*)	-	0.037

Nota. Tomado de “Norma E.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2014, pág.52.

La mejora del aislamiento térmico de los cerramientos de un módulo temporal de vivienda permite incrementar el nivel de confort térmico que experimentan los usuarios, así como la reducción de los costos que supondría la inclusión de un sistema de calefacción y/o aire acondicionado, que además de no ser energéticamente eficientes, requieren monitoreo técnico constante y mantenimientos periódicos para su correcto funcionamiento.

2.3.2. Propiedades Mecánicas de los Entramados de Madera

En la actualidad, los cuestionamientos acerca de la seguridad y funcionalidad que ofrece el uso de la madera como material estructural persisten en países como el nuestro. En tal sentido, para la Asociación de Investigación de Industrias de la Madera – AITIM (1995), el hecho de que países más desarrollados como EE. UU, Canadá, Escandinavia, Alemania o Japón hayan escogido la madera de forma generalizada para la construcción de viviendas unifamiliares puede considerarse como una garantía tecnológica.

La distribución espacial de los elementos descritos en el numeral 2.3.1 en la estructura del módulo temporal de vivienda, es también conocida como sistema de entramado ligero o sistema reticulado ligero. En la práctica común, se recubren los entramados por ambas caras con un panel o placa en base a un producto derivado de la madera, asemejándose a un panel sándwich sin relleno, caracterizado por su capacidad portante.

Almeida de Araujo, *et al.* (2016), consideran que los paneles típicamente empleados, como el triplay o los tableros de fibra orientada (OSB) pueden ser reemplazados por placas de fibrocemento o de cemento-madera especialmente en sistemas de muros no portantes, en donde la transmisión de las fuerzas se produce a través de los parantes del entramado de madera.

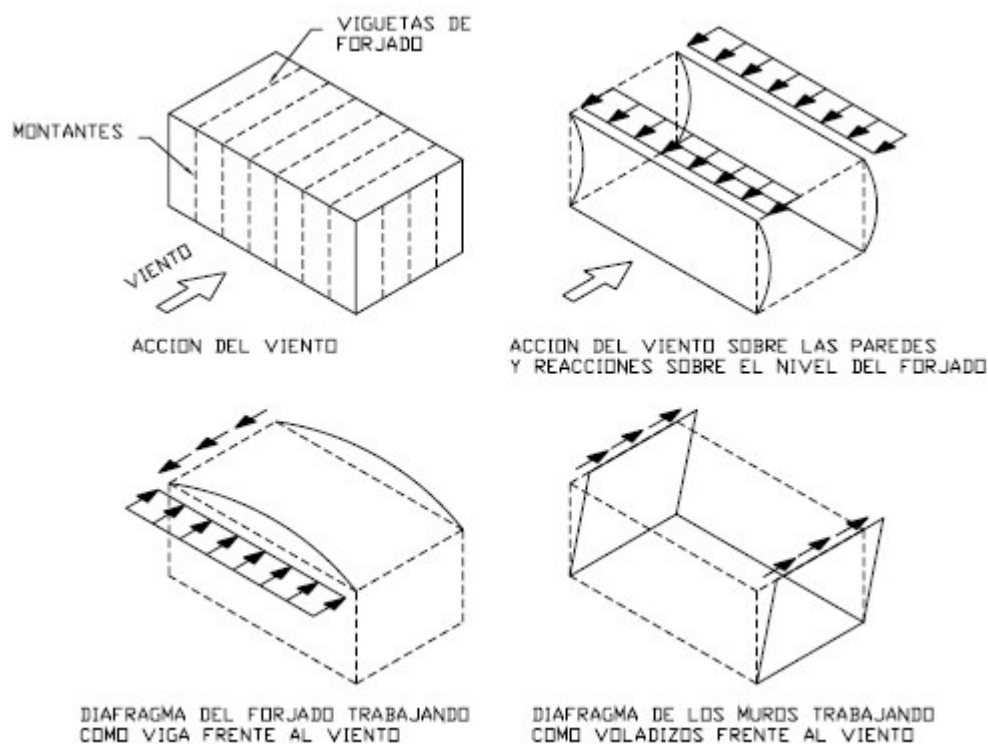


Figura 11. Principios Estáticos del Comportamiento Estructural de Entramados Ligeros

Nota. Tomado de “Casas de Madera. Sistemas Constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares”, por Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM), 1995, pág. 94

Dado que un entramado por sí mismo no es capaz de resistir acciones horizontales, la inclusión de cerramientos y/o revestimientos permite el equilibrio estático de la estructura.

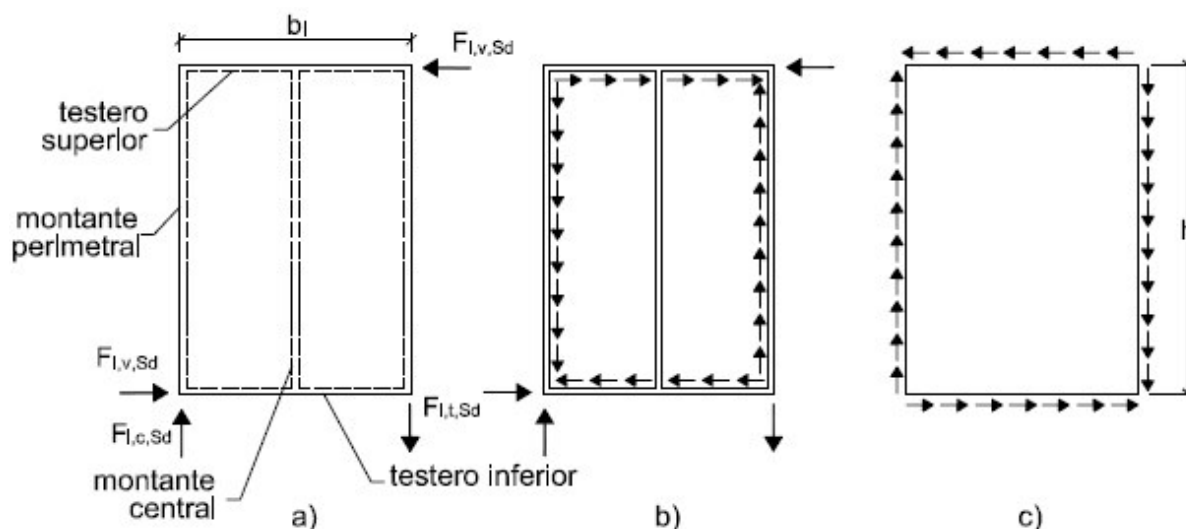


Figura 12. Solicitaciones sobre un panel de entramado ligero

Nota. Tomado de “Código Técnico de Edificación, Documento Básico: SM-E Seguridad Estructural Madera”, por Ministerio de Fomento, Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, 2009, pág. 82.

En la Figura 12 puede observarse el principio general de análisis de un panel del sistema de entramados ligeros, siendo el parámetro de mayor interés la denominada resistencia al descuadre de muro-diafragma, si se desea optar por un análisis simplificado. Las solicitaciones horizontales generan reacciones tanto verticales como horizontales sobre el panel que tienden a descuadrar la placa fijada al mismo debido a la deformación de los parantes y soleras, generando esfuerzos en el plano del elemento de cerramiento y/o revestimiento.

Para asegurar un comportamiento de unidad, es necesario distribuir los elementos mecánicos de fijación, en este caso, los clavos, con un espaciamiento constante a lo largo del perímetro y de los parantes intermedios de apoyo, ya que sobre ellos recaen los esfuerzos cortantes que se producen como reacción a las fuerzas que generan el descuadre del panel.

De acuerdo con el Código Técnico Español (2009), la resistencia al descuadre de un muro diafragma compuesto por paneles unidos entre sí, puede estimarse como la suma de la resistencia al descuadre de cada panel. En caso se incluyan paneles con vanos como parte del muro diafragma, la contribución de los mismos no debe considerarse.

CAPITULO 3 :

Análisis y Diseño Estructural

El modelamiento, análisis y diseño estructural de cada sistema constructivo evaluado ha sido realizado a través del programa SAP2000⁸.

El modelamiento estructural puede entenderse como una idealización de los principales aspectos funcionales de la estructura que busca representar una realidad física simplificada, para obtener una aproximación del comportamiento de sus elementos. En el caso del sistema de paneles sándwich, los componentes han sido representados mediante elementos de área, con el fin de identificar las zonas en las que se producen los esfuerzos máximos y verificar la idoneidad de los espesores propuestos para los materiales en la sección compuesta, mientras que, para los entramados de madera, los bastidores han sido representados mediante un arreglo tridimensional de elementos lineales con la finalidad de evaluar si la sección especificada para los listones asegura la estabilidad y resistencia de la estructura. En ambos casos, cada elemento presente en el modelo posee una sección con propiedades definidas.

La normativa técnica empleada para el desarrollo de este capítulo, se detalla a continuación:

- RNE – E.010 Reglamento Nacional de Edificaciones - Madera
- RNE – E.020 Reglamento Nacional de Edificaciones - Cargas
- RNE – E.030 Reglamento Nacional de Edificaciones - Diseño Sismorresistente
- RNE – E.090 Reglamento Nacional de Edificaciones – Estructuras Metálicas

⁸ SAP2000 es un software especializado para el modelamiento, análisis y diseño estructural basado en el Método de los Elementos Finito, desarrollado por Computers & Structures Inc.

3.1. Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno

3.1.1. Características del Sistema Estructural

En el numeral 2.1.2, se estableció una superficie de $3.00 \text{ m} \times 6.00 \text{ m} = 18.00 \text{ m}^2$ como área bruta para la modulación de cada MTV. Las características principales de la Alternativa A, que representa al sistema de paneles tipo sándwich con núcleo de poliestireno, se resumen a continuación en la Tabla 23:

Tabla 23

Características de MTV en base al Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno

Elemento	Componentes	Dimensiones	Especificaciones
Muros Portantes	Termomuro tipo Sándwich de doble plancha de acero y núcleo de poliestireno	$e = 5.0 \text{ cm}$	Densidad 18 kg/m^3
Cobertura*	Termotecho tipo Sándwich de doble plancha de acero y núcleo de poliestireno	$e = 5.0 \text{ cm}$	Densidad 18 kg/m^3
Conexiones	Uniones Machihembradas	-	Muro-Muro y Techo-Techo
	Ángulos L	$e = 0.45 \text{ mm}$	Muro-Techo y Esquinas
Plataforma**	Vigas Perimetrales***	$e = 0.75 \text{ mm}$	Acero Galvanizado
	Correas Intermedias***	$e = 0.75 \text{ mm}$	Acero Galvanizado
	Tablero Principal	$e = 18.0 \text{ mm}$	Triplay Fenólico
Cimentación	Pedestales de Concreto	$19.00 \times 39.00 \text{ cm}$	$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

(*) Cobertura a una sola agua, con pendiente de 16.95%, alturas de muro $h_1 = 2.90 \text{ m}$ y $h_2 = 2.44 \text{ m}$.

(**) La plataforma se divide en 5 partes para aumentar la rigidez y facilitar el transporte.

(***) Dimensiones según cuadro de perfiles de plataforma.

Nota. Elaboración propia.

3.1.2. Consideraciones de Análisis Estructural

a. Combinaciones de Carga

Las combinaciones de carga consideradas para el análisis estructural del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno se encuentran a base a lo establecido por la norma técnica E.090 Estructuras Metálicas, puesto que la perfilería y las planchas metálicas presentes en los componentes del sistema constituyen el material que determina su rigidez y resistencia. A continuación, se detallan las combinaciones de carga aplicables para la metodología de diseño por esfuerzos admisibles (ASD⁹ por sus siglas en inglés):

- (1) D
- (2) D + L + L_r
- (3) D + W_x
- (4) D + W_{y1}
- (5) D + W_{y2}
- (6) D ± 0.70 E_x
- (7) D ± 0.70 E_y
- (8) 0.75 (D + L + L_r + W_x)
- (9) 0.75 (D + L + L_r + W_{y1})
- (10) 0.75 (D + L + L_r + W_{y2})
- (11) 0.75 (D + L + L_r + 0.70 E_x)
- (12) 0.75 (D + L + L_r + 0.70 E_y)

Donde:

D	: Carga muerta debida al peso propio de los elementos y los efectos permanentes sobre la estructura
L	: Carga viva debida al mobiliario y ocupantes
L _r	: Carga viva en azoteas
W	: Carga de viento
E	: Carga de sismo de acuerdo a la norma E.030 Diseño Sismorresistente

⁹ ASD (Allowable Stress Design) es una metodología de diseño estructural según la cual, para un conjunto de combinaciones de carga aplicables, los esfuerzos unitarios actuantes sobre los elementos estructurales deben resultar siempre menores a los esfuerzos unitarios admisibles establecidos por la normativa correspondiente.

b. Parámetros Sísmicos

A continuación, se definen los parámetros sísmicos que serán empleados en la metodología de análisis estático (fuerza lateral equivalente) y dinámico (análisis modal de respuesta espectral):

Tabla 24

Parámetros Sísmicos: Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno

Descripción	Símbolo	Valor	Observación
Factor de Zona	Z	0.45	Piura – Zona 4
Factor de Suelo	S	1.10	S3 – Suelo Blando
Factor de Amplificación Sísmica*	C	2.50	Caso $T < T_P$
<i>Periodo fundamental de vibración</i>	T	0.05	$h=3.20\text{m}$, $C_T=60$
<i>Periodo que define la plataforma del factor C</i>	T_P	1.00	Perfil de Suelo S3
<i>Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante</i>	T_L	1.60	Perfil de Suelo S3
Factor de Reducción (X-X)**	R_x	6.00	-
<i>Coefficiente Básico de Reducción</i>	R_o	6.00	Muros Estructurales
<i>Factor de Irregularidad en Altura</i>	I_a	1.00	Estructura Regular
<i>Factor de Irregularidad en Piso</i>	I_p	1.00	Estructura Regular
Factor de Reducción (Y-Y)**	R_y	6.00	-
<i>Coefficiente Básico de Reducción</i>	R_o	6.00	Muros Estructurales
<i>Factor de Irregularidad en Altura</i>	I_a	1.00	Estructura Regular
<i>Factor de Irregularidad en Piso</i>	I_p	1.00	Estructura Regular
Factor de Uso o Importancia	U	1.00	C - Edificación Común

(*) El factor de amplificación sísmica queda definido por las expresiones:

$$\text{Si } T < T_P ; C = 2.50$$

$$\text{Si } T_P < T < T_L ; C = 2.50 \cdot \left(\frac{T_P}{T_L} \right)$$

$$\text{Si } T > T_L ; C = 2.50 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

(**) El coeficiente de reducción de fuerza sísmica R queda definido por la expresión: $R = R_o \cdot I_a \cdot I_p$

Nota. Elaboración propia.

3.1.3. Especificaciones de Materiales

a. Acero Estructural

- Ángulos y accesorios: ASTM A36 $F_y=2\,530\text{ kg/cm}^2$
- Perfiles conformados en frío: ASTM A653 $F_y=2\,800\text{ kg/cm}^2$

b. Conectores

- Tornillos de acero estructural ISO 1066:1999 $F_y=2\,530\text{ kg/cm}^2$

c. Panel Termomuro (e= 50 mm)

- Lámina de acero conformada en frío $e=0.45\text{ mm}$
- Poliestireno expandido $\rho=18\text{ kg/m}^3$
- Peso específico del panel $\gamma=180\text{ kg/m}^3$
- Resistencia a la compresión $\sigma=7.17\text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson $\mu=0.30$
- Módulo de Elasticidad en compresión $E=5\,662\text{ kg/cm}^2$

d. Panel Termotecho (e= 50 mm)

- Lámina de acero conformada en frío $e=0.45\text{ mm}$
- Poliestireno expandido $\rho=18\text{ kg/m}^3$
- Peso específico del panel $\gamma=180\text{ kg/m}^3$
- Módulo de Poisson $\mu=0.30$
- Módulo de Elasticidad en flexión (*) $E=1.79 \times 10^8\text{ kg/m}^2$
- Momento aplicado máximo $M=165\text{ kg-m}$
- Deflexión máxima $\delta=16\text{ mm}$

(*) Para un área de panel $1.06 \times 0.051\text{ m}^2$ y un momento de inercia compuesto de $1.17 \times 10^{-5}\text{ m}^4$.

3.1.4. Configuración Estructural

a. Configuración en Planta

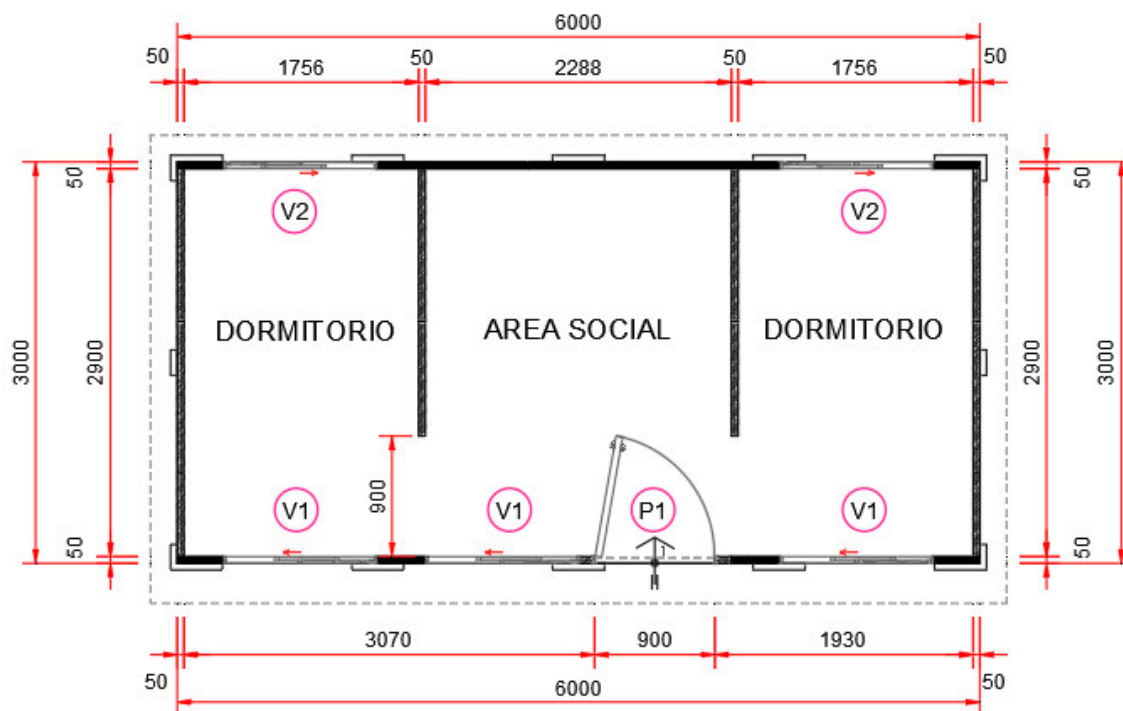


Figura 13. Distribución en Planta de MTV: Alternativa 01

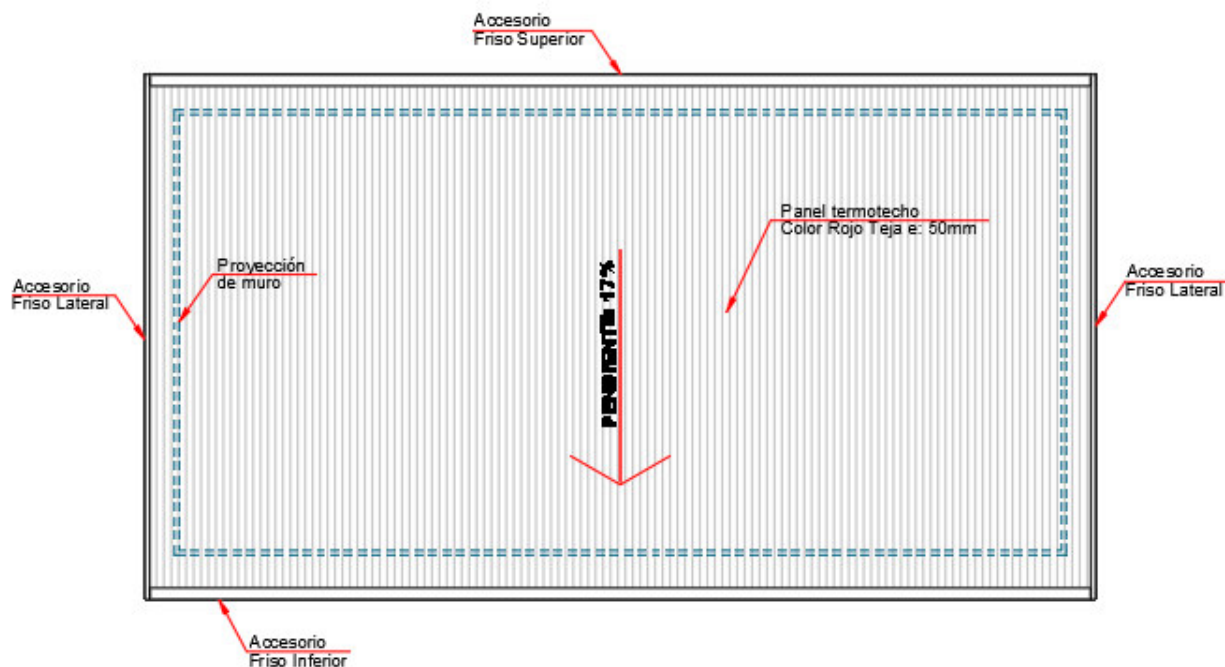


Figura 14. Vista Superior de MTV: Alternativa 01

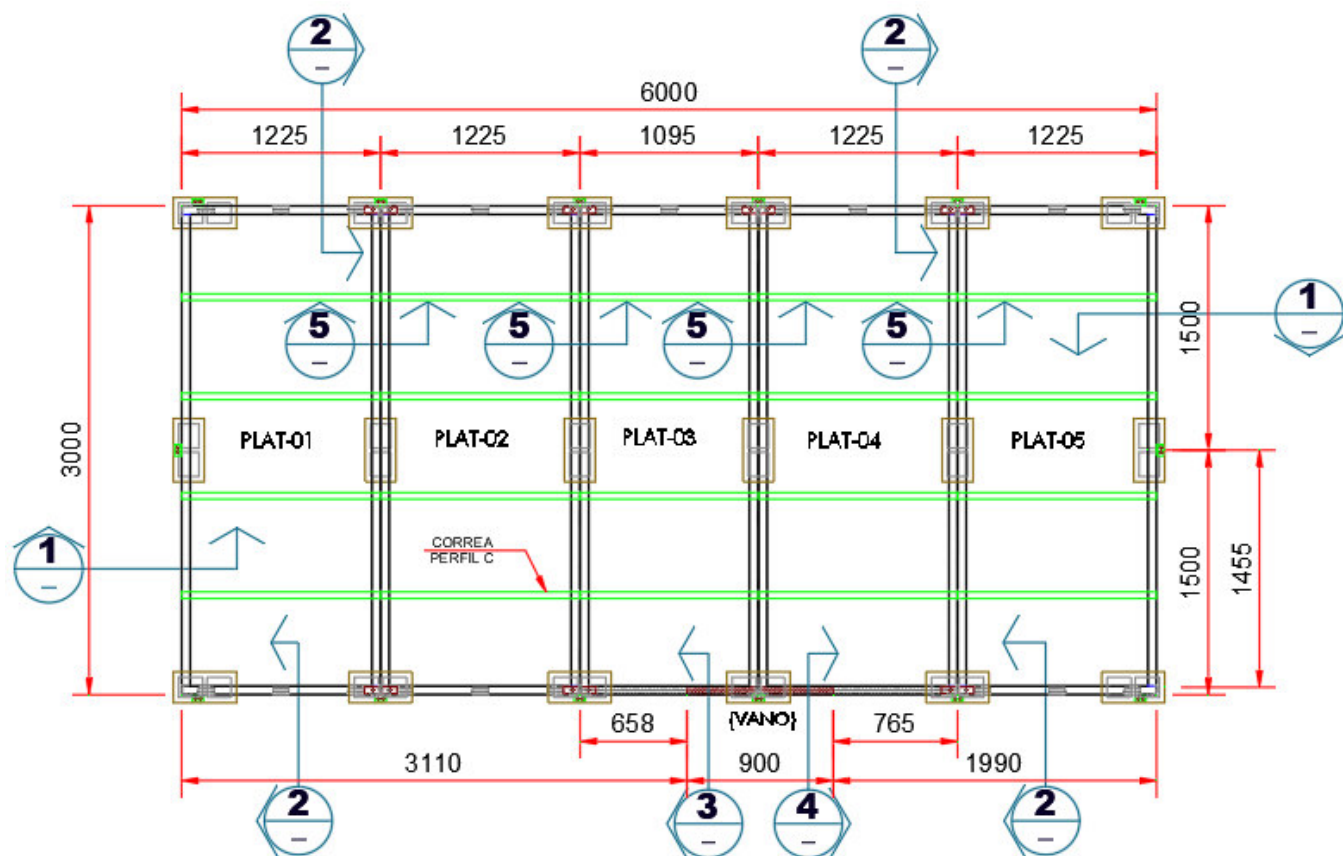


Figura 15. Distribución de Plataforma de MTV: Alternativa 01

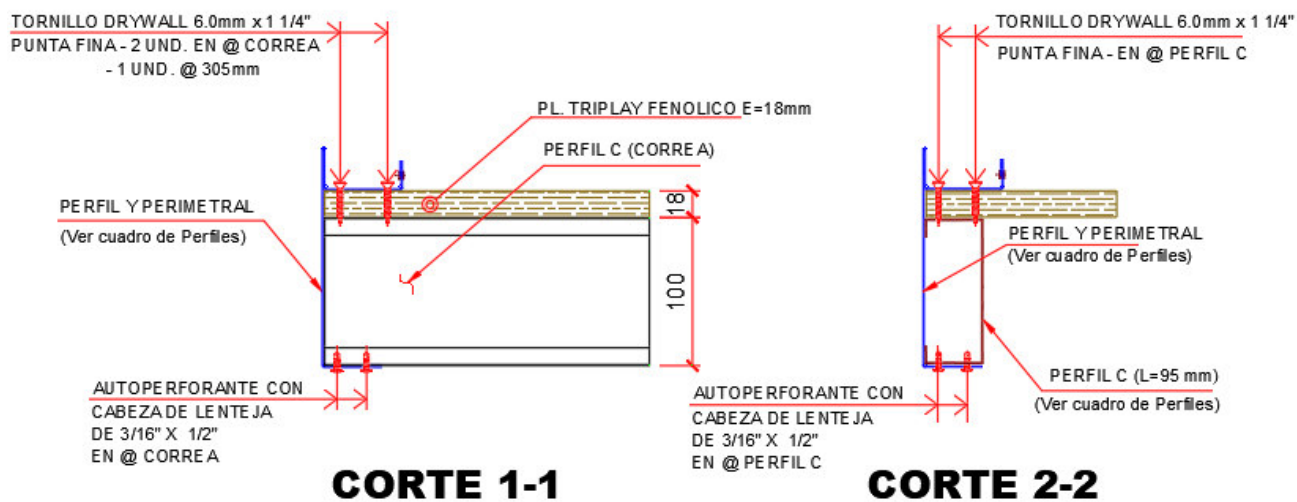


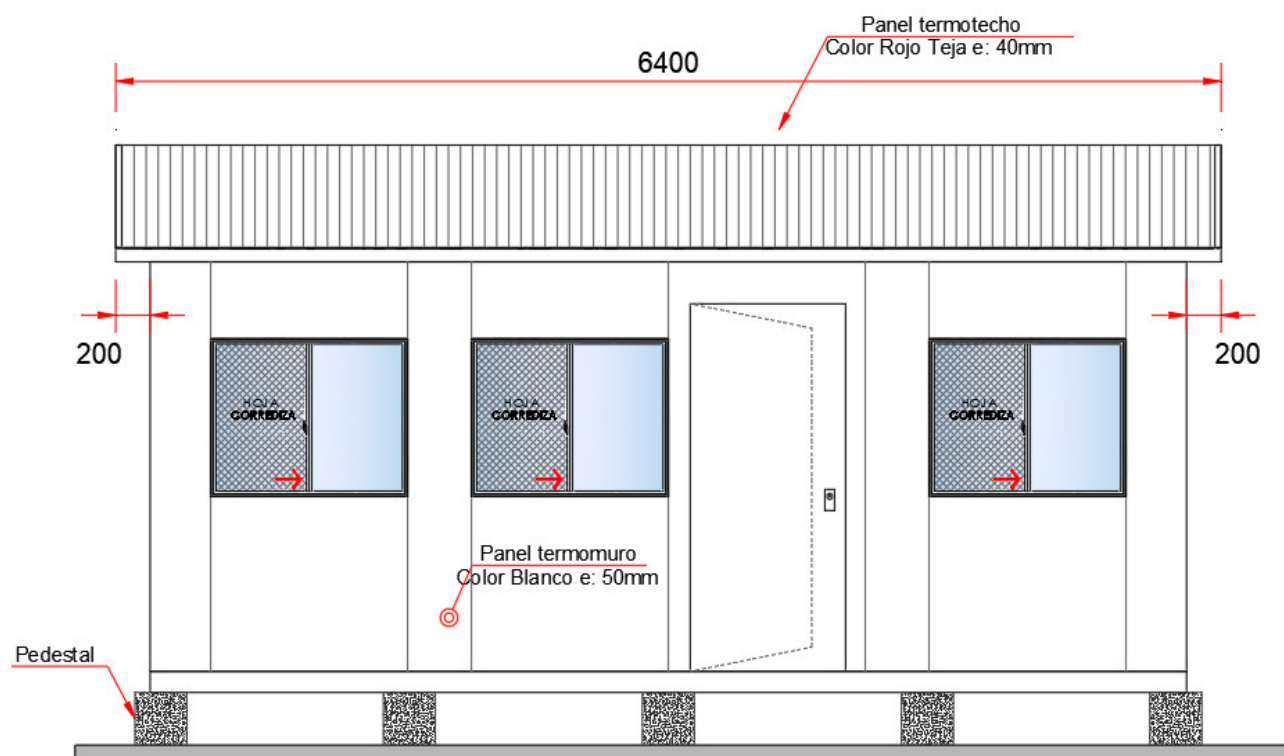
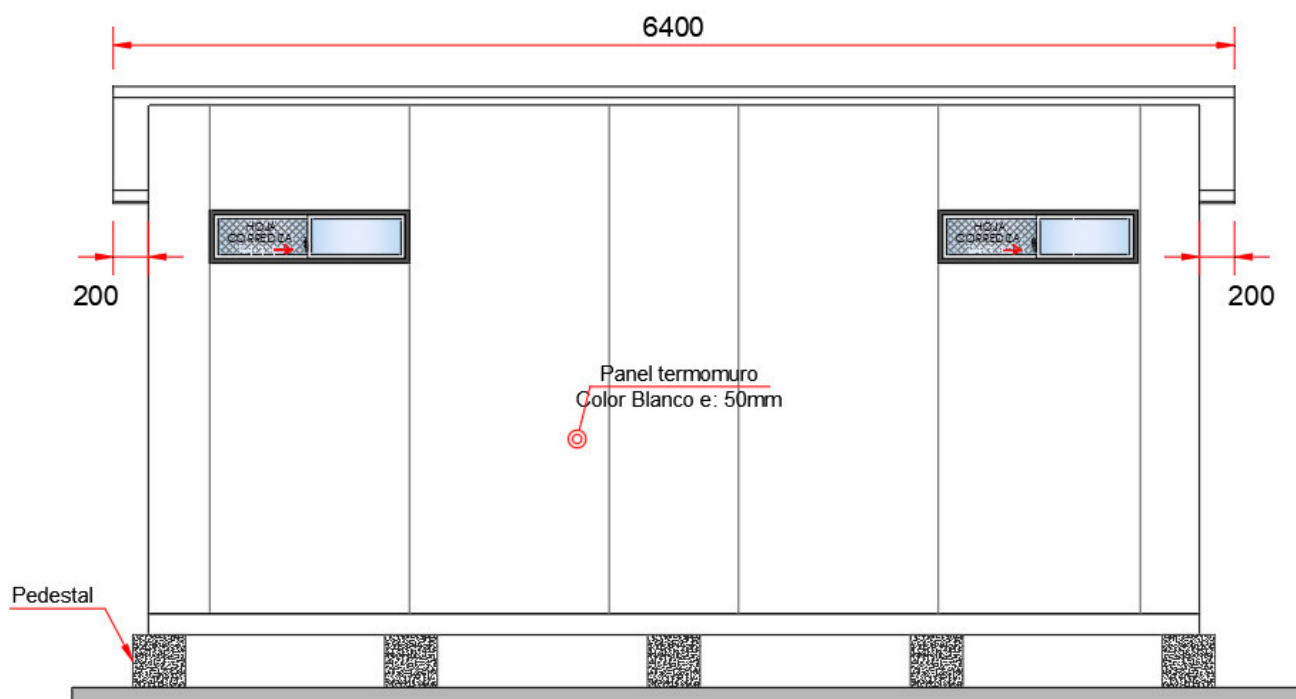
Figura 16. Detalle de Secciones 1-1 y 2-2 de Plataforma de MTV: Alternativa 01

**CORTE 3-3****CORTE 4-4**

Figura 17. Detalle de Secciones 3-3 y 4-4 de Plataforma de MTV: Alternativa 01

CUADRO DE PERFILES		
PERFIL Y (e=0.75 mm)	PERFIL J (e=0.75 mm)	PERFIL C (e=0.75 mm)
PERFIL U (e=0.75 mm)	CANTONERA (e=0.75 mm)	ÁNGULOS
		<p>L1 (Unión pedestal - plataforma)</p> <p>L2 (Esquina plataforma)</p>

Figura 18. Perfiles de Vigas Perimetrales y Correas de la Plataforma de MTV: Alternativa 01

b. Configuración en Elevación**Figura 19.** Elevación Frontal de MTV: Alternativa 01**Figura 20.** Elevación Posterior de MTV: Alternativa 01

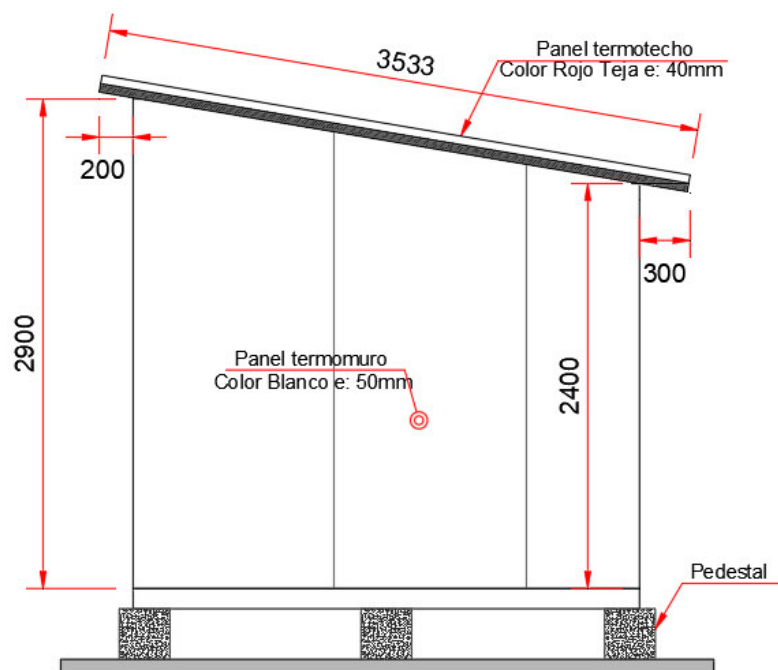


Figura 21. Elevación Lateral de MTV: Alternativa 01

3.1.5. Metrado de Cargas

Para la estimación de las cargas actuantes se consideran las siguientes dimensiones en planta de la estructura:

Luz del pórtico :	3.00m
Longitud total :	6.00m
Ancho de techo :	3.50m
Largo de techo :	6.40m

a. Carga Muerta

- *Carga Muerta de Piso*

Peso estructura de piso	:	1.00 kg/m ²
Peso triplay fenólico e=18mm	:	9.00 kg/m ²
Instalaciones	:	2.00 kg/m ²

Total	:	12.00 kg/m²
--------------	----------	-------------------------------

- *Carga Muerta de Cobertura*

Peso Termotecho	:	9.00 kg/m ²
Instalaciones	:	5.00 kg/m ²

Total	:	14.00 kg/m²
--------------	----------	-------------------------------

b. Carga Viva

<i>Carga Viva de Piso</i>	:	200.00 kg/m ²	(E.020 Cargas, 2006)
<i>Carga Viva de Cobertura</i>	:	30.00 kg/m ²	(E.020 Cargas, 2006)

c. Carga de Viento

Velocidad del viento (V)	:	80.00 Km/h
Altura sobre el terreno (h)	:	3.20 m
Velocidad de diseño en (h)	:	75.00 Km/h
Presión dinámica del suelo (Ph)	:	$0.005CV^2 = 28.13C$ kg/m ²

Los coeficientes que determinan las presiones de viento actuantes de acuerdo a la geometría del módulo temporal de vivienda y dirección del viento considerada se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25

Presiones de Viento para Análisis y Diseño Estructural: Alternativa 01

Descripción	Factor de forma (C)	Ph (kg/cm ²)	Tipología
Muro (Barlovento)	0.80	22.50	Superficies verticales
Muro (Sotavento)	-0.60	-16.88	Superficies verticales
Muro (Paralelo)	-0.70	-19.69	Superficies paralelas al viento
Cubierta (Paralela)	-0.70	-19.69	Superficies paralelas al viento
Cubierta (Barlovento)	0.30	8.44	Superficies inclinadas menores a 15°
Cubierta (Barlovento)	-0.70	-19.69	Superficies inclinadas menores a 15°

Nota. Tomado de “Norma E.020 Cargas”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2006, pág.204.

En el Anexo C.1 puede verse un detalle de la estimación de las presiones por superficie.

3.1.6. Cortante Basal Estática

La norma técnica E.030 establece que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, es necesario verificar que la magnitud de la fuerza cortante en la base de la edificación no resulte menor que el 80% del valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \times P ; \text{ donde } \frac{C}{R} \geq 0.125$$

Donde:

- V : Cortante Basal
- Z : Factor de Zona, definido en la Tabla 24.
- U : Factor de Uso o Importancia, definido en la Tabla 24.
- C : Coeficiente de Amplificación Sísmica, definido en la Tabla 24.
- S : Factor de Suelo, definido en la Tabla 24.
- R : Factor de Reducción, calculado para cada dirección, definido en la Tabla 24.
- P : Peso Sísmico, calculado de acuerdo al numeral 4.3. de la norma técnica E.030.

La expresión para determinar el peso sísmico (P) queda definida por:

$$P = P_{plat.} + P_{muros} + P_{techo} + 25\%C_{VIVA}$$

Donde:

- P_{plat} : Peso de la plataforma, obtenido del producto del área total y la carga muerta de piso.
 P_{muros} : Peso de los muros, obtenido del producto del área total y el peso específico.
 P_{techo} : Peso del techo, obtenido del producto del área total por el peso específico, más la carga muerta.
 C_{VIVA} : Carga viva de la edificación, de acuerdo a la norma técnica E.020.

Por tanto, el peso sísmico del módulo temporal de vivienda es:

$$C_{VIVA} = (22.75 \times 30.00) + (18.00 \times 200.00) = 4282.5 \text{ kg}$$

$$P = (18.00 \times 12.00) + (53.52 \times 9.00) + (22.75 \times 14.00) + 0.25(4282.50)$$

$$P = 216.00 + 481.68 + 318.5 + 1070.63 = 2\,086.81 \text{ kg}$$

Reemplazando este valor en la fórmula de la cortante basal obtenemos:

$$V = \frac{0.45 \times 1.00 \times 2.50 \times 1.10}{6.00} \times 2\,086.81$$

$$V = 0.206 \times 2\,040.36 = 408.60 \text{ kg}$$

El valor de la cortante basal estática resulta ser el mismo para ambas direcciones principales de análisis (X e Y), de acuerdo a los parámetros sísmicos establecidos en la Tabla 24.

3.1.7. Aceleración Espectral

El espectro de la norma técnica E.030 queda definido por la siguiente expresión:

$$\frac{S_a}{g} = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R}$$

Donde:

- S_a : Aceleración espectral.
 g : Aceleración de la gravedad.

Z, U, C, S y R son los parámetros sísmicos definidos en la Tabla 24.

Tabla 26*Espectro de Diseño de la norma técnica E.030 para la Alternativa 01*

T	C	C/R	S_a/g
0.00	2.50	0.4167	0.2063
0.02	2.50	0.4167	0.2063
0.04	2.50	0.4167	0.2063
0.06	2.50	0.4167	0.2063
0.08	2.50	0.4167	0.2063
0.10	2.50	0.4167	0.2063
0.12	2.50	0.4167	0.2063
0.14	2.50	0.4167	0.2063
0.16	2.50	0.4167	0.2063
0.18	2.50	0.4167	0.2063
0.20	2.50	0.4167	0.2063
0.25	2.50	0.4167	0.2063
0.30	2.50	0.4167	0.2063
0.35	2.50	0.4167	0.2063
0.40	2.50	0.4167	0.2063
0.45	2.50	0.4167	0.2063
0.50	2.50	0.4167	0.2063
0.55	2.50	0.4167	0.2063
0.60	2.50	0.4167	0.2063
0.65	2.50	0.4167	0.2063
0.70	2.50	0.4167	0.2063
0.75	2.50	0.4167	0.2063
0.80	2.50	0.4167	0.2063
0.85	2.50	0.4167	0.2063
0.90	2.50	0.4167	0.2063
0.95	2.50	0.4167	0.2063
1.00	2.50	0.4167	0.2063
1.60	1.56	0.2604	0.1289
2.00	1.00	0.1667	0.0825
2.50	0.64	0.1067	0.0528
3.00	0.44	0.0741	0.0367
4.00	0.25	0.0417	0.0206
5.00	0.16	0.0267	0.0132
6.00	0.11	0.0185	0.0092
7.00	0.08	0.0136	0.0067
8.00	0.06	0.0104	0.0052
9.00	0.05	0.0082	0.0041
10.00	0.04	0.0067	0.0033

Nota. Elaboración propia.

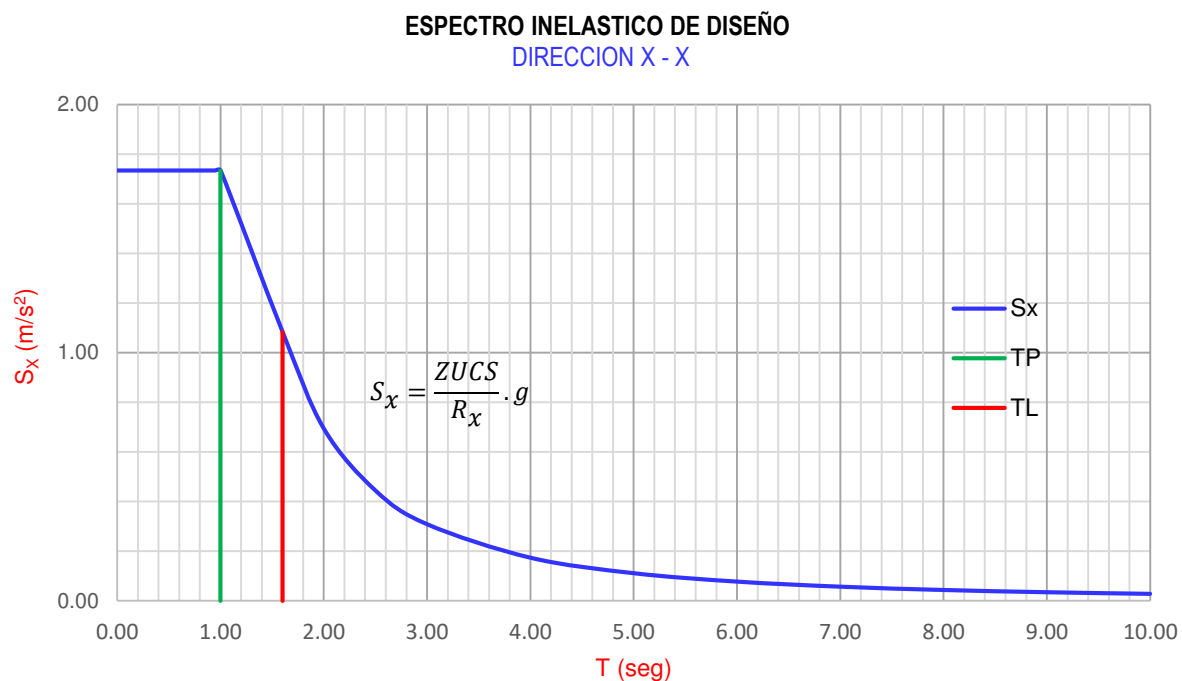


Figura 22. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones en la Dirección X-X: Alternativa 01

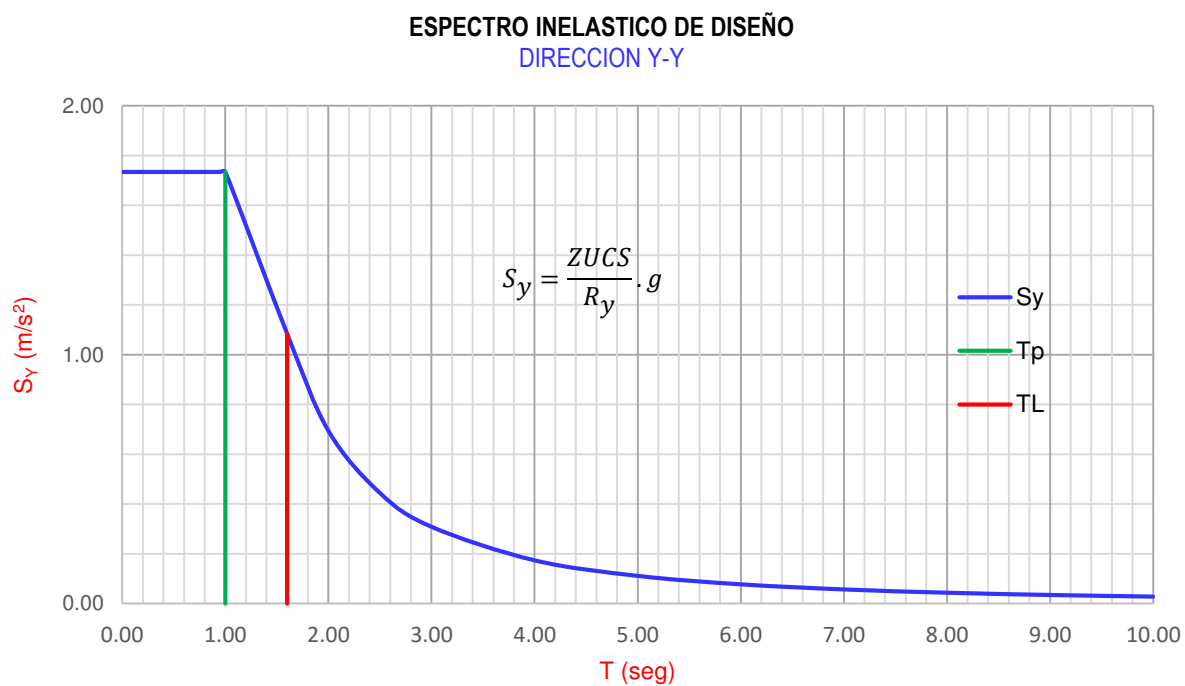


Figura 23. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones en la Dirección Y-Y: Alternativa 01

3.1.8. Modelamiento Estructural

A continuación, se detalla el procedimiento de generación del modelo de análisis.

3.1.8.1. Materiales

En base a lo establecido en el numeral 3.1.3, se definen las propiedades de los materiales en el programa SAP2000:

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Termomuro 5cm

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 180.

Mass per Unit Volume: 18.3549

Units

Kgf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 56620000.

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 21776923.

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 24. Asignación de las propiedades mecánicas del Panel Termomuro

Al definir el peso específico del material, el peso y la masa de los elementos quedan definidos. El módulo de elasticidad fue tomado de los ensayos de compresión realizados en el Laboratorio de Estructuras del CISMID en el año 2009, este valor permite el cálculo

automático de la rigidez a compresión, flexión y tracción de las secciones, y determina la distribución de esfuerzos y magnitud de las deformaciones sobre los elementos.

En el caso de los parámetros que no resultan relevantes para el tipo de análisis considerado, tales como el módulo de Poisson y el coeficiente de expansión térmica, se mantendrán los valores establecidos por defecto.

El procedimiento anterior es replicado para definir los parámetros del panel termotecho (utilizado en la cobertura), del acero conformado en frío (utilizado en los perfiles metálicos de la plataforma) y del concreto $f'c$ 210 kg/cm² (utilizado en los pedestales sobre los que se apoya la plataforma).

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data". It contains several sections for defining material properties:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: "Acero LAF" (with a green color swatch).
 - Material Type: "ColdFormed" (dropdown menu).
 - Material Notes: "Modify/Show Notes..." button.
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: "7849.0476".
 - Mass per Unit Volume: "800.3801".
- Units:**
 - Units: "Kgf, m, C" (dropdown menu).
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus Of Elasticity, E: "2.074E+10".
 - Poisson, U: "0.3".
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A: "1.170E-05".
 - Shear Modulus, G: "7.977E+09".
- Switch To Advanced Property Display:** An unchecked checkbox.
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Figura 25. Asignación de las propiedades mecánicas del acero conformado en frío

3.1.8.2.Secciones

Se definieron dos secciones tipo Shell, una para modelar los paneles muro y otra para modelar los paneles techo, a las que se le asignó el material correspondiente. Para ambas secciones se ha seleccionado el tipo de sección “*Shell-Thin*” que se utiliza para placas delgadas cuyo comportamiento está controlado por la flexión, despreciando el efecto del esfuerzo cortante. Asimismo, la definición del espesor de la sección “*Thickness*” será de 0.05 m, tanto para el cálculo de las rigideces ante fuerzas axiales y a través de su plano (“*Membrane*”), como para la rigidez a flexión (“*Bending*”).

A continuación, se muestra el proceso ilustrativo de definición de la sección para el panel termomuro de 5cm, el que será muy similar para la definición de la sección del panel termotecho de 5cm y del triplay fenólico de la plataforma.

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box. The 'Section Name' is 'Termomuro 5cm'. The 'Section Notes' field has a 'Modify/Show...' button. The 'Type' section has radio buttons for 'Shell - Thin' (selected), 'Shell - Thick', 'Plate - Thin', 'Plate Thick', 'Membrane', and 'Shell - Layered/Nonlinear'. There is a 'Modify/Show Layer Definition...' button below. The 'Thickness' section has input fields for 'Membrane' and 'Bending', both set to '0.05'. The 'Material' section has a 'Material Name' dropdown set to 'Termomuro 5cm' and a 'Material Angle' input set to '0.'. The 'Time Dependent Properties' section has a 'Set Time Dependent Properties...' button. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' section has a 'Modify/Show Shell Design Parameters...' button. The 'Stiffness Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Temp Dependent Properties' section has a 'Thermal Properties...' button. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 26. Asignación de las secciones de área para el Termomuro

Para definir las propiedades de los perfiles Y, J y C de la plataforma del módulo temporal de vivienda, se emplean elementos tipo frame; se muestra a continuación de manera ilustrativa la definición de propiedades del perfil C:

Cold Formed C Section

Section Name: Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside Height (A) :

Outside Width (B) :

Thickness (t) :

Radius (R) :

Lip Depth (C) :

Material

Property Modifiers

Section

Properties

Figura 27. Definición de propiedades uno de los perfiles de la plataforma (Perfil tipo C)

De manera similar, para definir los pedestales sobre los que se apoya la plataforma, se utilizan elementos tipo frame, para los cuales deberá tenerse en consideración su orientación de acuerdo a la Figura 13.

3.1.8.3. Casos de Carga para Análisis Estático

Se definieron los siguientes patrones de carga estática:

Tabla 27

Casos de Carga Estática Asignados al Modelo: Alternativa 01

Descripción	Símbolo	Observación
Peso propio	DEAD	Calculado automáticamente
Carga muerta o permanente	CM	Ver numeral 3.1.5
Carga viva de techo	L_r	Ver numeral 3.1.5
Sismo Estático	S_x, S_y	Ver numeral 3.1.6
Carga de Viento	W_x, W_{y1}, W_{y2}	Ver numeral 3.1.5

Nota. Elaboración propia.

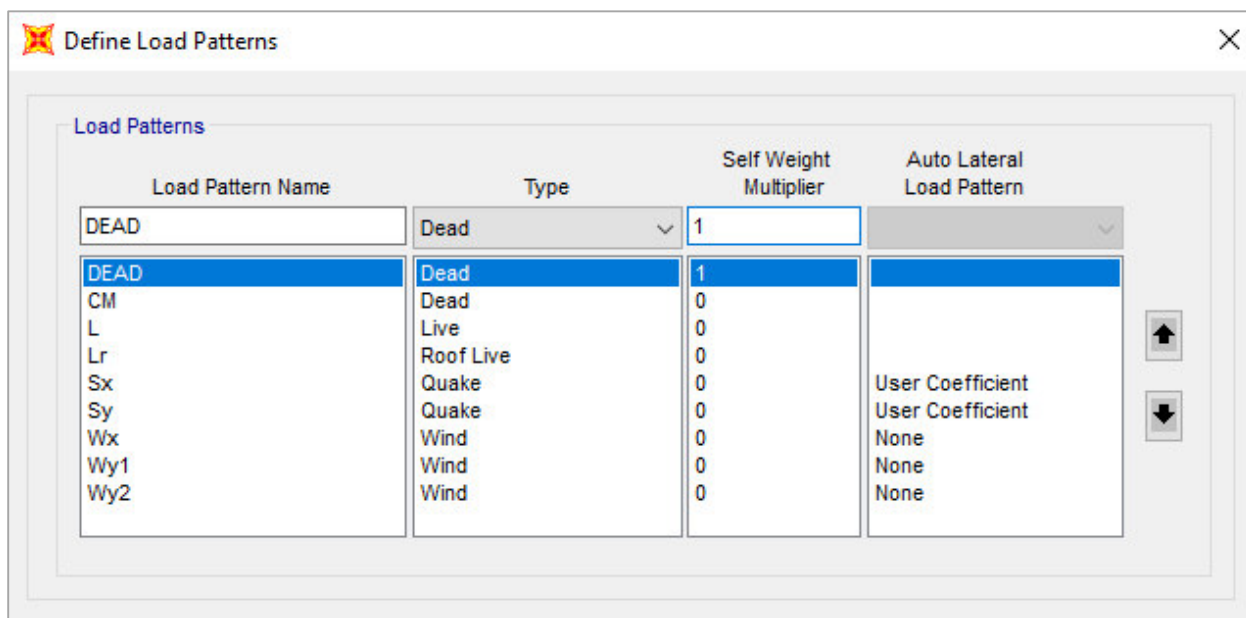


Figura 28. Casos de carga estática definidos en el SAP 2000: Alternativa 01

Como se aprecia en la Figura 28 el único patrón de carga que contiene el multiplicador de peso propio es aquel generado automáticamente por el programa, que registra el peso de todo elemento presente en el modelo para el cual ha sido definido un material con densidad conocida.

Con excepción de las cargas sísmicas, los patrones definidos en la Tabla 27 representan cargas uniformemente distribuidas sobre elementos área. En el caso de las cargas de gravedad son aplicadas sobre la cobertura y la plataforma, y en el caso de las cargas de viento, la presión o succión es aplicada sobre los muros exteriores del módulo temporal de vivienda según los coeficientes para superficies en barlovento y sotavento establecidos en el numeral 3.1.5.

Para definir las cargas sísmicas estáticas, es posible utilizar una configuración correspondiente a un código diseño preestablecido en el programa, o en su defecto ingresar un coeficiente de cortante basal para cada dirección de análisis, de acuerdo a la expresión indicada en el numeral 3.1.6. Dado que no existe diferencia entre el sistema estructural resistente a fuerzas laterales en las direcciones principales, se empleará el mismo coeficiente para cada caso de carga sísmica. La carga lateral se distribuye verticalmente en base al método de la Fuerza Horizontal Equivalente.

User Defined Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

- ☒ Global X Direction
- ☐ Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Other Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height exp., K

Lateral Load Elevation Range

- ☒ Program Calculated
- ☐ User Specified

Max Z

Min Z

Figura 29. Patrones de carga para el sismo estático en X-X: Alternativa 01

3.1.8.4. Asignación del Espectro Sísmico de Diseño

El espectro de la norma técnica E.030 puede representarse a través del ingreso de un conjunto de abscisas y ordenadas, para el periodo y aceleración de la estructura respectivamente, obtenidos de acuerdo al procedimiento mostrado en el numeral 3.1.7.

Este espectro de respuesta proporciona una representación gráfica de aceleraciones máximas estimadas estadísticamente en base a la sismicidad de una zona y el periodo de retorno de sus eventos sísmicos (pseudo-aceleraciones), que permiten determinar las fuerzas de inercia actuantes, así como los desplazamientos y esfuerzos máximos.

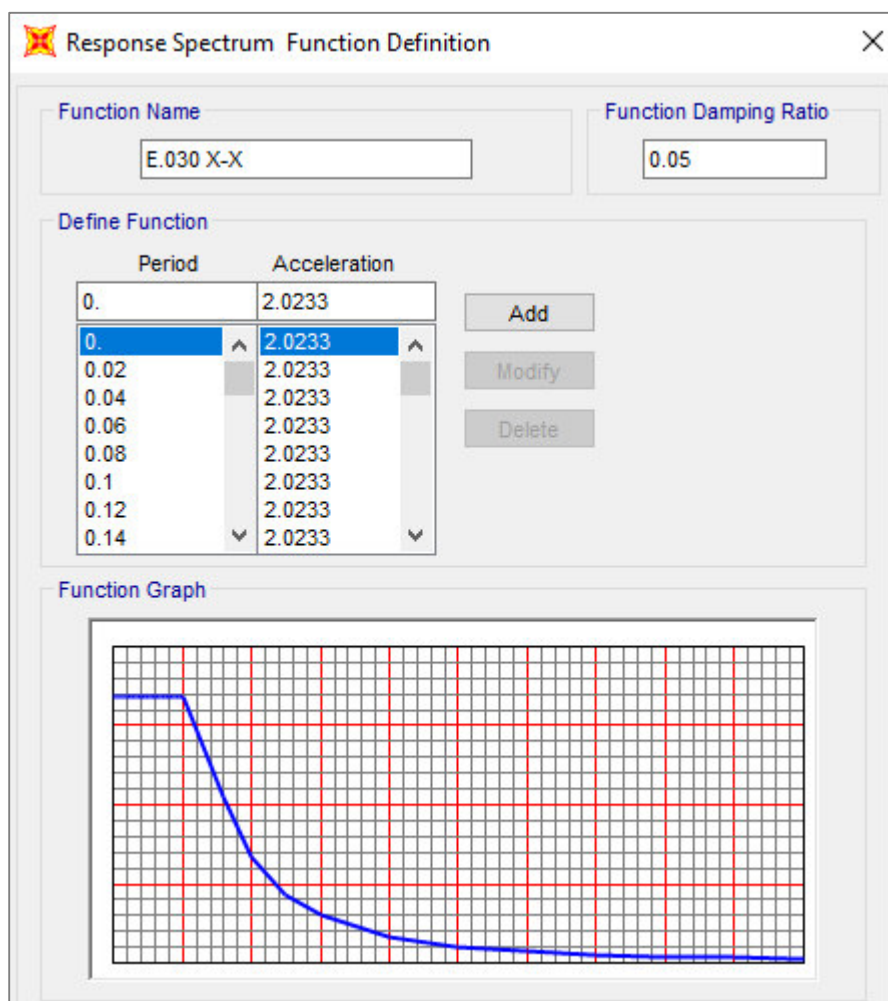
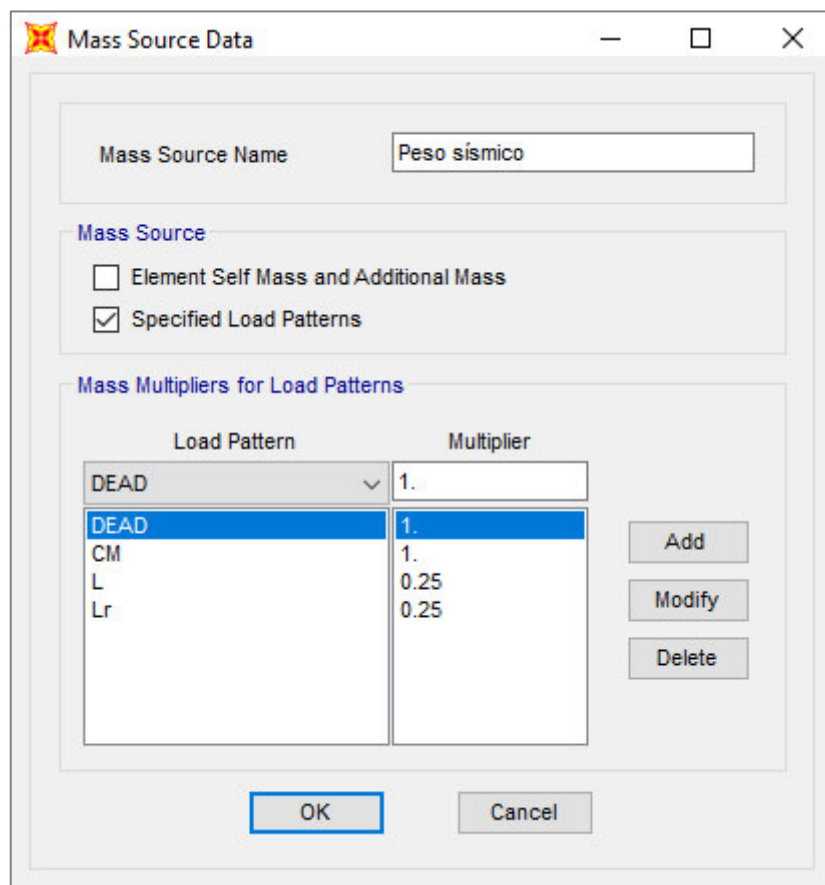


Figura 30. Espectro sísmico de diseño de acuerdo a la E.030: Alternativa 01

3.1.8.5. Definición de masas para el cálculo sísmico

Se especificaron los patrones de carga y coeficientes de participación a considerar en la estimación del peso sísmico, según lo expuesto en el numeral 3.1.6.



Mass Source Data

Mass Source Name:

Mass Source

☐ Element Self Mass and Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
CM	1.
L	0.25
Lr	0.25

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 31. Definición de Masa Sísmica: Alternativa 01

3.1.8.6. Casos de respuesta espectral para análisis sísmico dinámico

Se procedió a definir los casos de carga para el análisis dinámico en las direcciones principales, teniendo en cuenta los modos de vibración y el espectro sísmico de diseño establecido en la norma técnica E.030. Para el análisis modal, se utilizó el método de la combinación cuadrática completa (CQC¹⁰, por sus siglas en inglés), mientras que para la combinación direccional se utilizó la suma de las raíces de la suma de sus cuadrados (SRSS¹¹, por sus siglas en inglés).

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SDx **Set Def Name** **Notes:** Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum **Design...**

Modal Combination:
☒ CQC **GMC f1:** 1.
☐ SRSS **GMC f2:** 0.
☐ Absolute **Periodic + Rigid Type:** SRSS
☐ GMC
☐ NRC 10 Percent
☐ Double Sum

Modal Load Case:
 Use Modes from this Modal Load Case: MODAL
☒ Standard - Acceleration Loading
☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	E.030 X-X	1.
Accel	U1	E.030 X-X	1.

Other Parameters:
 Modal Damping: Constant at 0.05 **Modify/Show...**

Directional Combination:
☒ SRSS
☐ CQC3
☐ Absolute
 Scale Factor:

Mass Source:
 Previous (Peso sísmico)

Diaphragm Eccentricity:
 Eccentricity Ratio: 0.05
 Override Eccentricities: **Override...**

Buttons: OK, Cancel

Figura 32. Parámetros de Análisis Dinámico en la dirección X-X: Alternativa 01

¹⁰ Complete Quadratic Combination (CQC), es un método de combinación de los valores máximos (aceleración, desplazamiento, fuerzas, esfuerzos) obtenidos para cada modo de vibración de una estructura, que considera el acoplamiento estadístico entre los modos espaciados más cercanos causados por amortiguación modal.

¹¹ Square Root of the Sum of the Squares (SRSS) es una variación del método CQC, en la cual la amortiguación modal es cero para cada uno de los modos evaluados.

3.1.8.7. Generación del Modelo Matemático

Para esquematizar el modelo matemático representativo del sistema de paneles sándwich se esbozan sus componentes (plataforma, paneles muro y paneles techo) mediante elementos tipo frame y de área, con las propiedades definidas anteriormente.

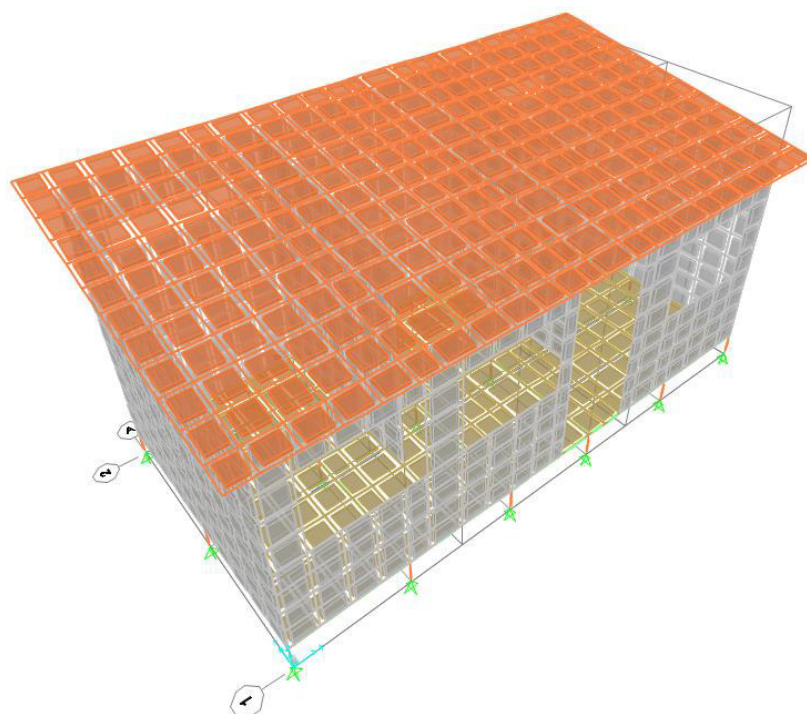


Figura 33. Vista en 3D del modelo matemático del MTV: Alternativa 01

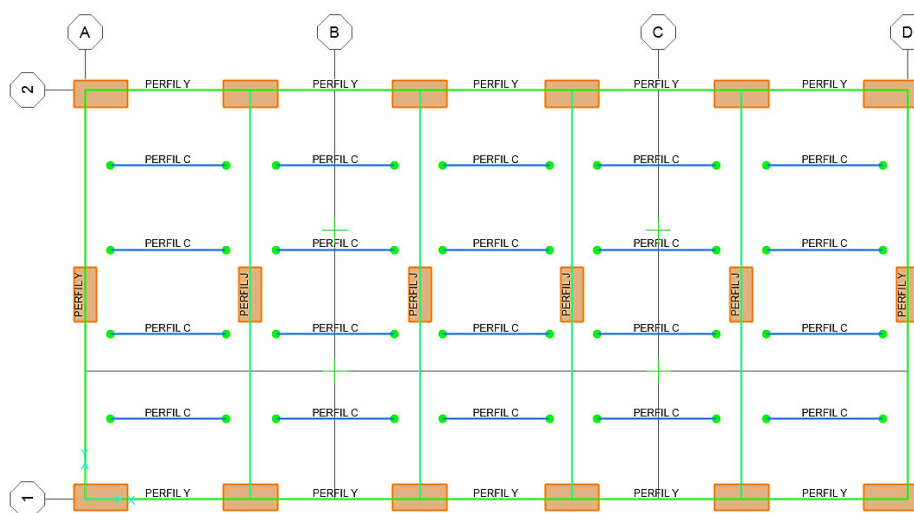


Figura 34. Vista en planta del modelo matemático de la plataforma del MTV: Alternativa 01

3.1.8.8. Asignación de Cargas

De acuerdo a la estimación efectuada en el numeral 3.1.5, se procede con la asignación de cargas distribuidas sobre los elementos de área. La magnitud de las cargas aplicadas para cada caso definido se muestra a continuación a través de una escala de colores:

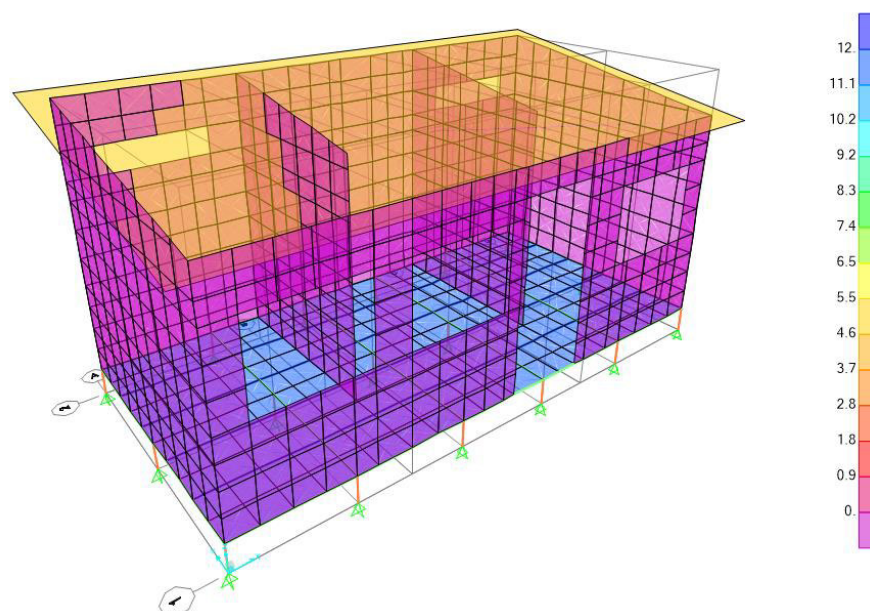


Figura 35. Carga Permanente (CM) en kg/m^2 : Alternativa 01

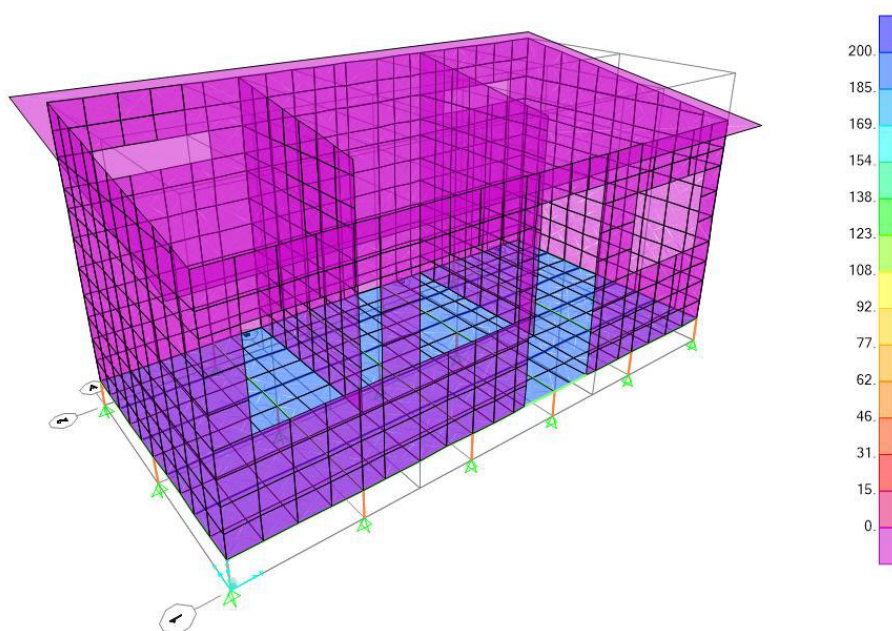


Figura 36. Carga Viva (L) sobre Plataforma en kg/m^2 : Alternativa 01

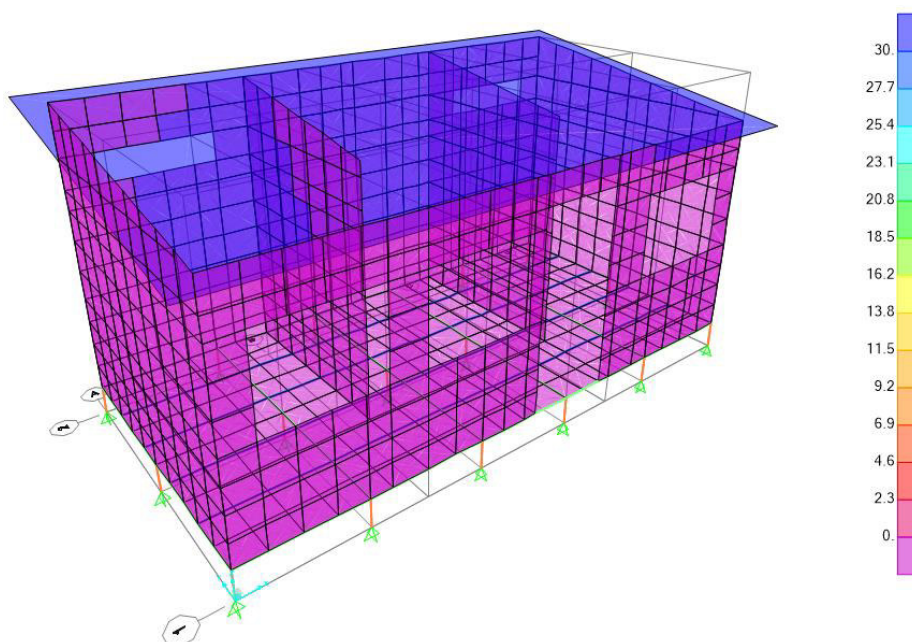


Figura 37. Carga Viva (L_r) sobre Cubierta en kg/m^2 : Alternativa 01

Los casos de carga de viento (W_x , W_{y1} y W_{y2}), se representan como cargas que actúan en sentido perpendicular al plano del elemento tipo área definido, en función de las coordenadas locales de cada elemento sobre el que se aplican.

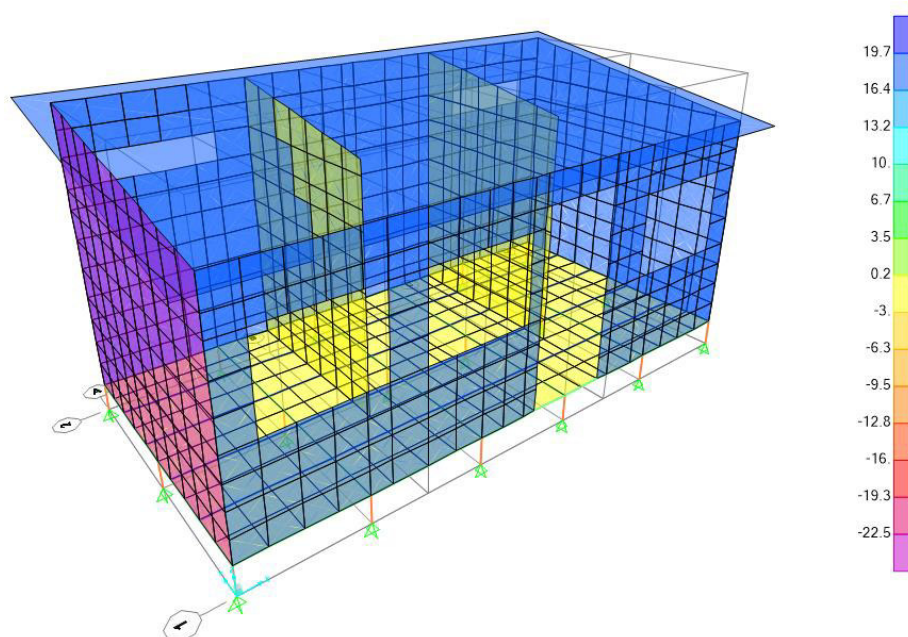


Figura 38. Carga de viento en X-X (W_x) en kg/m^2 : Alternativa 01

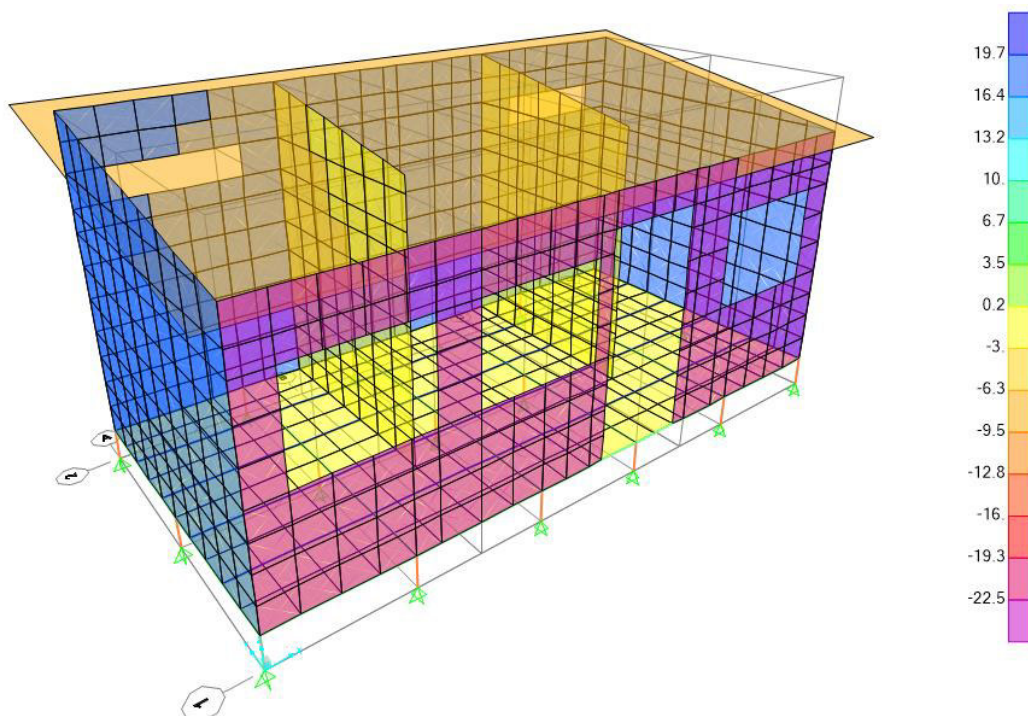


Figura 39. Carga de Viento en Dirección Y-Y (Wy1) en kg/m^2 : Alternativa 01

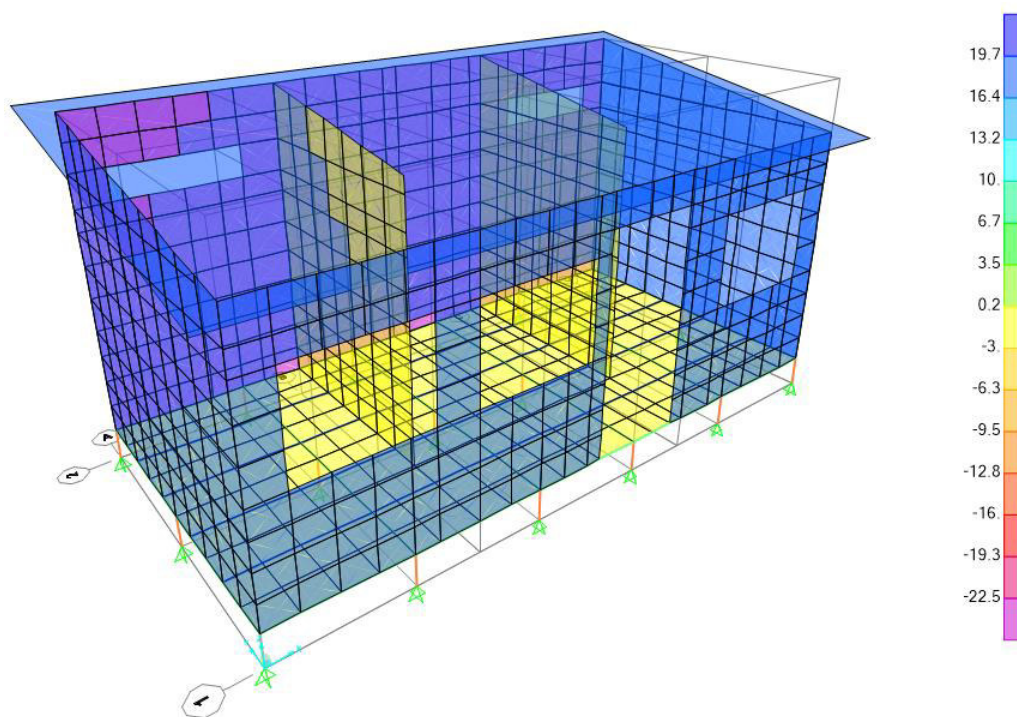


Figura 40. Carga de Viento en Dirección Y-Y (Wy2) en kg/m^2 : Alternativa 01

3.1.9. Análisis Estructural

Una vez generado el modelo representativo, y luego de haberse asignado las cargas correspondientes a cada patrón de carga definido, se procede a ejecutar un análisis tridimensional, esto es, considerando seis grados de libertad que incluyen los desplazamientos en la dirección de los tres ejes principales absolutos del modelo y la rotación alrededor de los mismos, para verificar si los resultados obtenidos se ajustan a la normativa vigente.

3.1.9.1. Verificación de la Deriva

La norma técnica E.030 indica que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso calculado multiplicando por el coeficiente $0.75R$ (R es el factor definido en la Tabla 24), no debe exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) de acuerdo al material predominante de la estructura.

Tabla 28

Límites para la Distorsión del entrepiso: Alternativa 01

Material Predominante	$\left(\Delta/h_{et}\right)$
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado MDL*	0,005

(*) Muros de Ductilidad Limitada

Nota. Tomado de “Norma E.030 Diseño Sismorresistente”, RNE, 2018, pág.27.

El material predominante en el sistema de paneles sándwich es el acero, por lo tanto, se verificó que la distorsión relativa de los puntos a la altura del entrepiso no supere lo establecido en la Tabla 28.

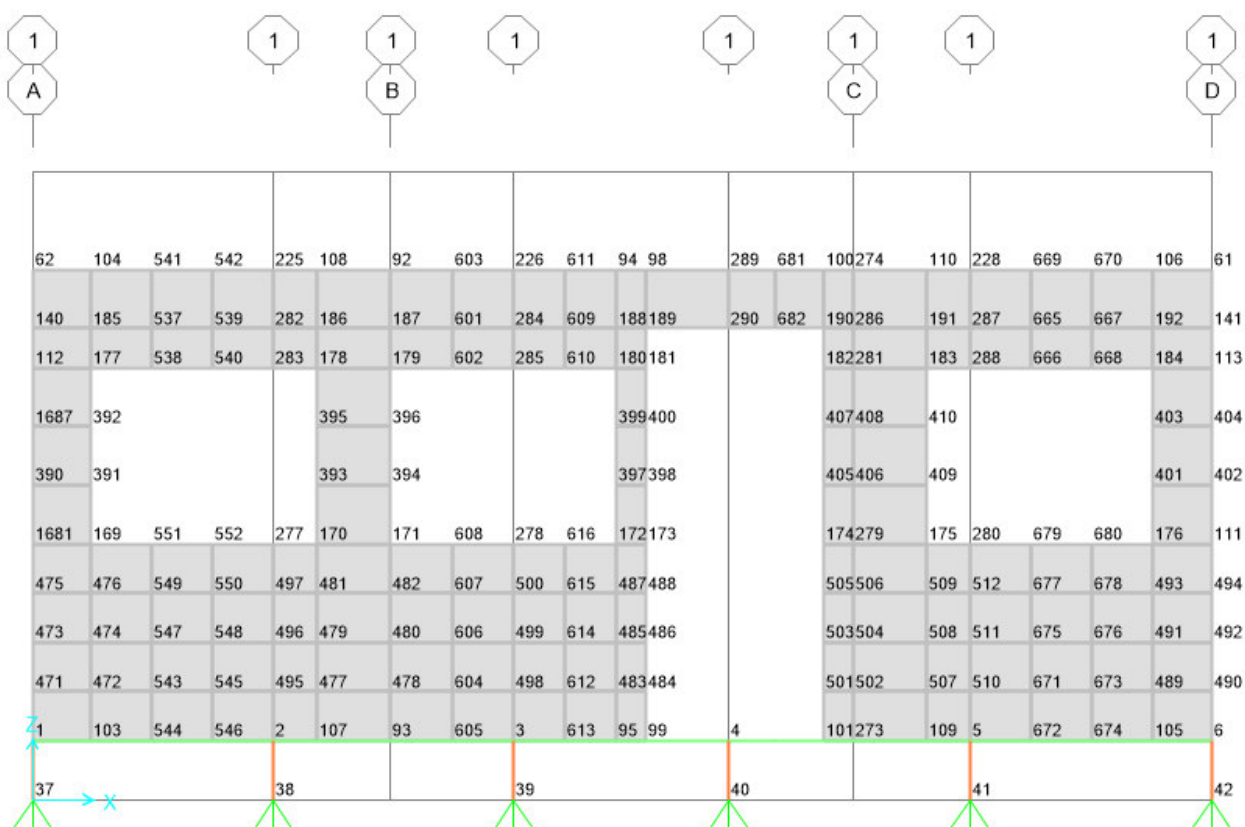


Figura 41. Etiquetas de Puntos - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 01

Tabla 29

Distorsión de Entrepiso - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 01

Nudo	Caso de Carga	ΔX^* (m)	$\Delta X \times 0.75R$ (m)	H_e (m)	$\frac{\Delta X \times 0.75R}{H}$
61	SDx	0.000098	0.000441	2.40	0.0001838
62	SDx	0.000099	0.000446	2.40	0.0001856

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 42 se muestra la deformada de la elevación frontal del módulo para el caso de carga SDX, que representa un sismo dinámico en la dirección longitudinal.

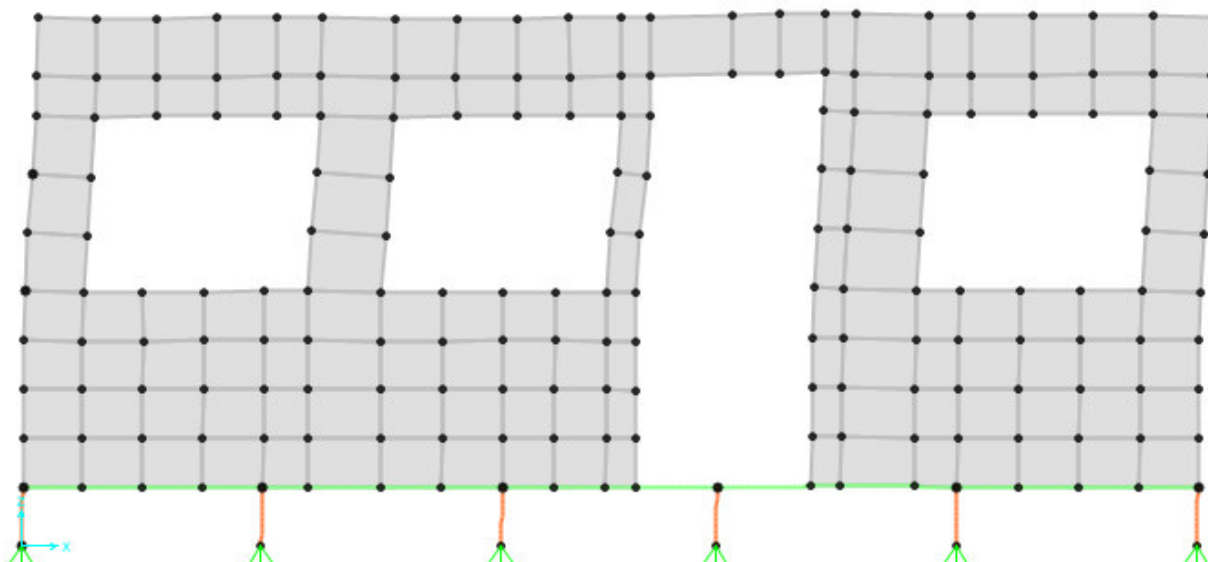


Figura 42. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 01

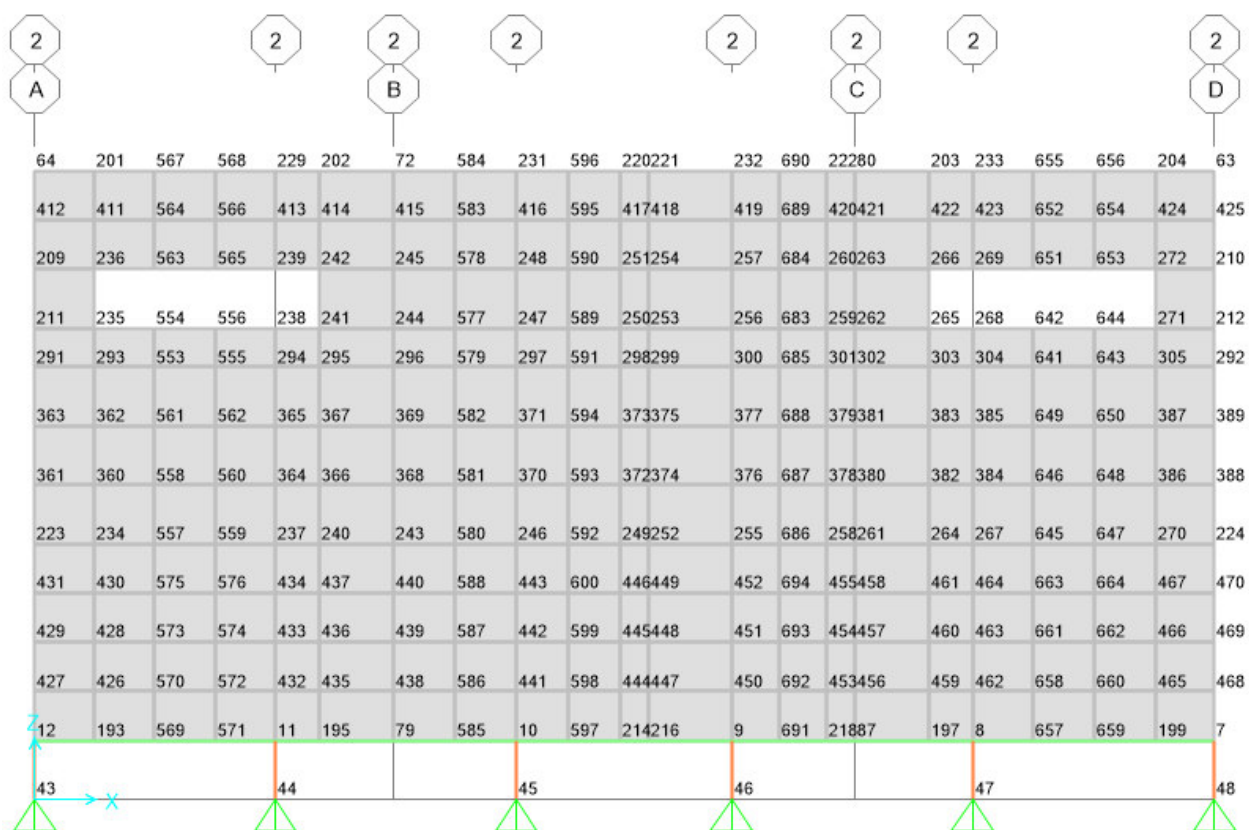


Figura 43. Etiquetas de Puntos - Eje 1 (Muro Posterior): Alternativa 01

Tabla 30*Distorsión de Entrepiso - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 01*

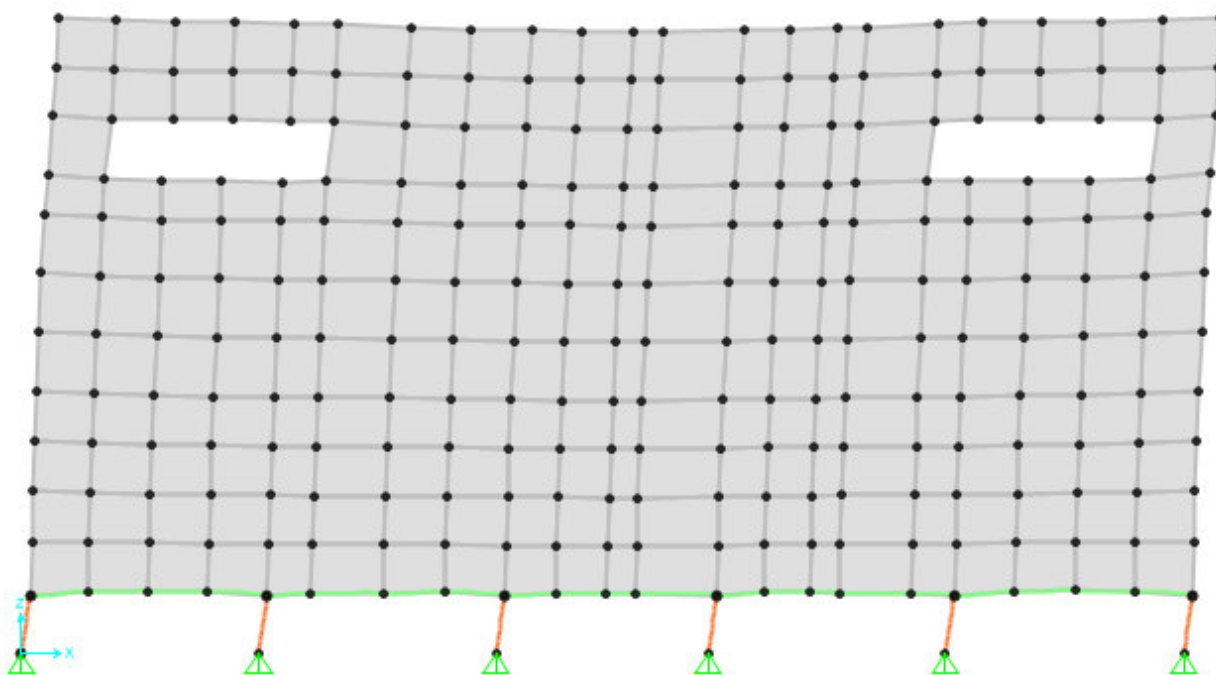
Nudo	Caso de Carga	ΔX^* (m)	$\Delta X \times 0.75R$ (m)	H_e (m)	$\frac{\Delta X \times 0.75R}{H}$
63	SDx	0.000058	0.000261	2.90	0.0000900
64	SDx	0.000057	0.000257	2.90	0.0000884

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, se evidenció en las Tablas 29 y 30 que las distorsiones de entrepiso en la dirección X, no superan el límite máximo de 0.01 de distorsión establecido para el acero en la norma técnica E.030.

En la Figura 44 se muestra la deformada de la elevación posterior del módulo para el caso de carga SDX, que representa un sismo dinámico en la dirección longitudinal.

**Figura 44.** Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02

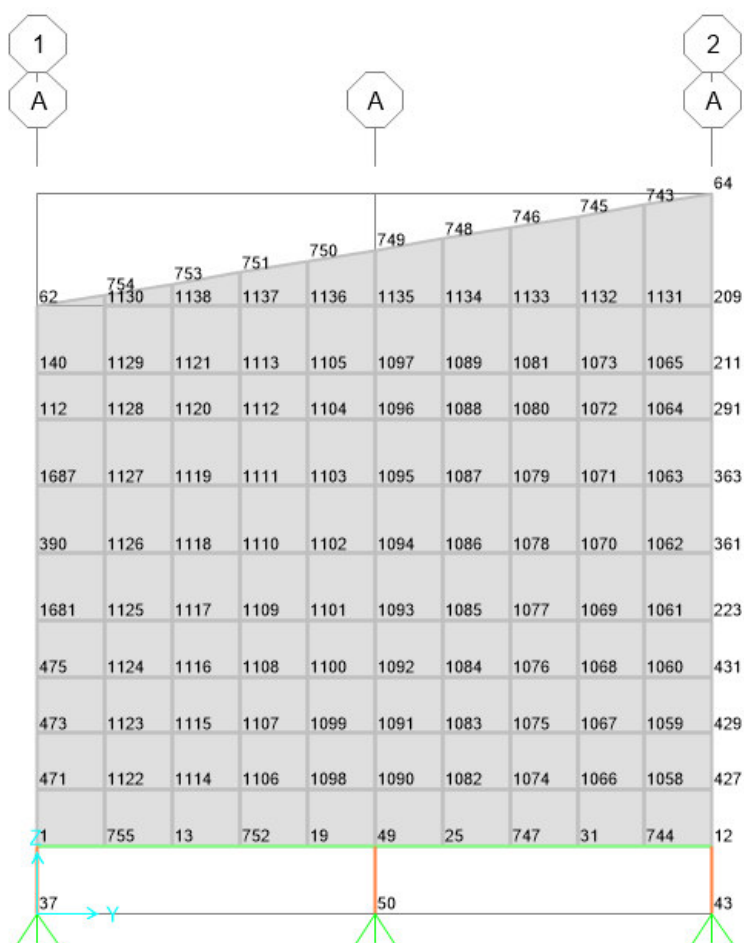


Figura 45 Etiquetas de puntos - Eje A (Muro lateral) – Alternativa 01

Tabla 31

Distorsión de Entrepiso - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 01

Nudo	Caso de Carga	ΔY^* (m)	$\Delta Y \times 0.75R$ (m)	H_e (m)	$\frac{\Delta Y \times 0.75R}{H}$
62	SDy	0.000074	0.000333	2.40	0.0001388
64	SDy	0.000086	0.000387	2.90	0.0001334

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

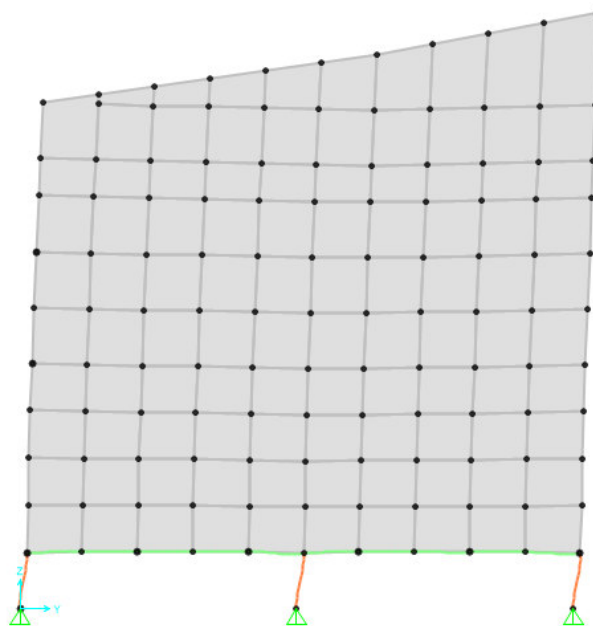


Figura 46. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 01

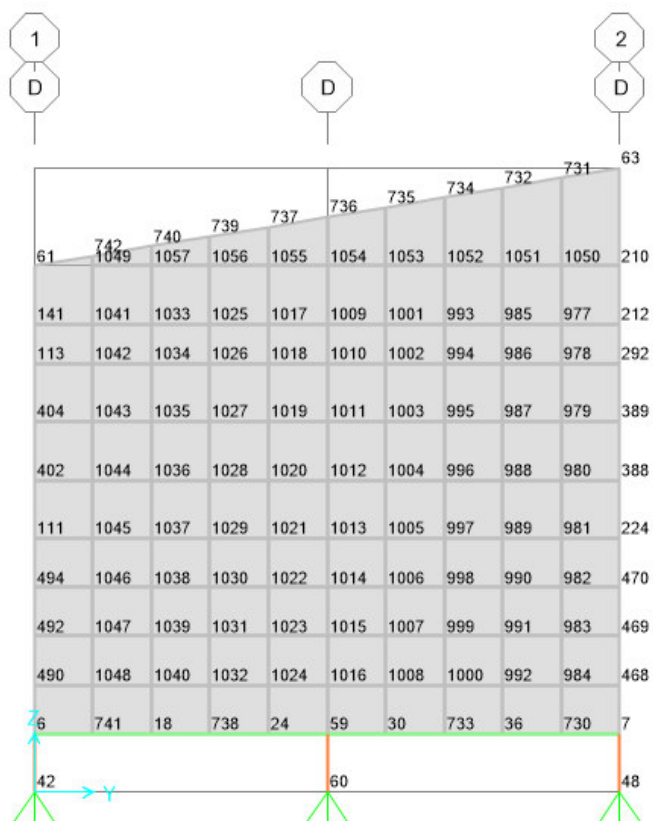


Figura 47. Etiquetas de puntos - Eje D (Muro lateral): Alternativa 01

Los nodos considerados para la verificación de distorsiones en el muro lateral ubicado en el eje D del módulo temporal de vivienda se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32

Distorsión de Entrepiso - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 01

Nudo	Caso de Carga	ΔY^* (m)	$\Delta Y \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta Y \times 0.75R}{H}$
5	SDy	0.000046	0.000207	2.90	0.0000714
6	SDy	0.000041	0.000185	2.40	0.0000769

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 48 se muestra la deformada de la elevación lateral del módulo para el caso de carga SDY, que representa un sismo dinámico en la dirección transversal.

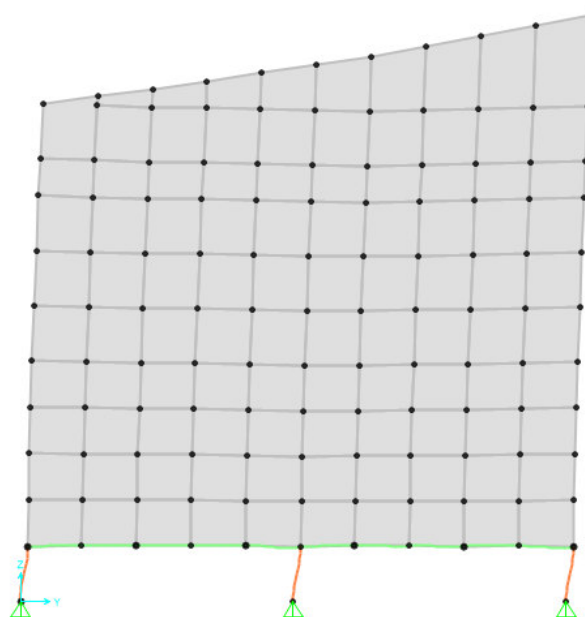


Figura 48. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 01

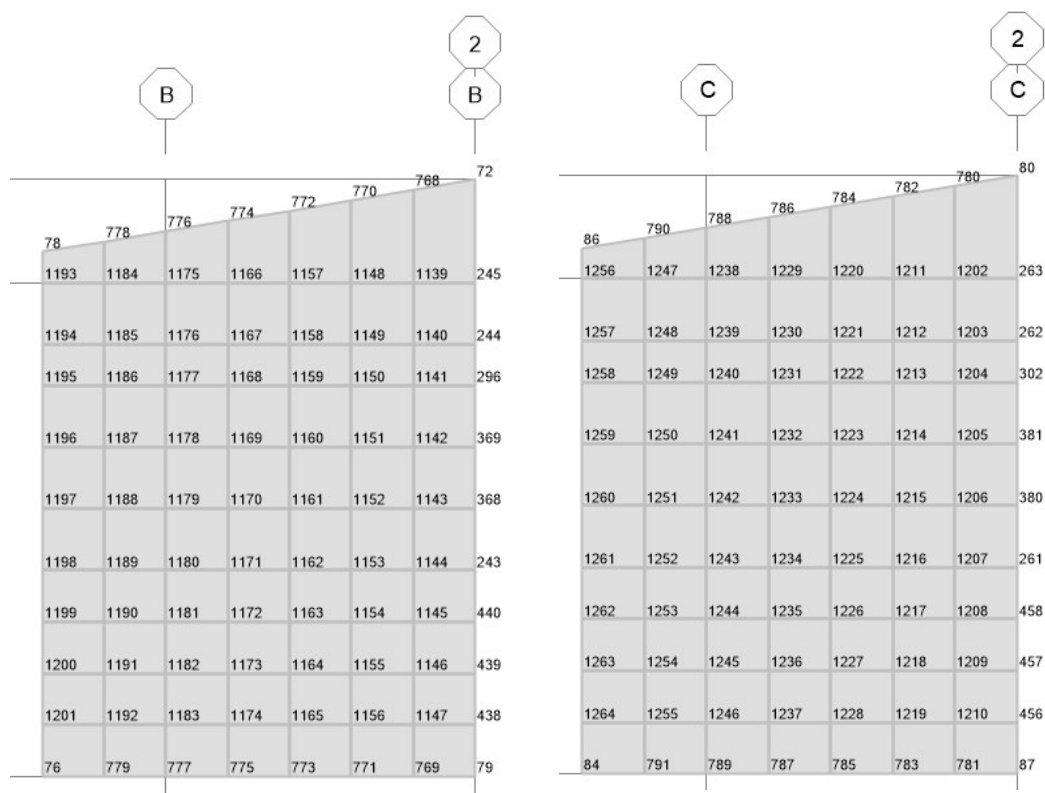


Figura 49. Asignación de etiquetas a los puntos de los muros de los ejes B y C (Muros interiores)

Tabla 33

Distorsión de Entrepiso (Ejes B y C): Alternativa 01

Punto	Caso de Carga	ΔY^* (m)	$\Delta Y \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta Y \times 0.75R}{H}$
29	SDY	0.000050	0.000225	2.90	0.0000776
31	SDY	0.000046	0.000207	2.56	0.0000809
17	SDY	0.000050	0.000225	2.90	0.0000776
27	SDY	0.000046	0.000207	2.40	0.0000809

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

Las *Tablas 31, 32 y 33* evidencian que los desplazamientos relativos máximos en la dirección Y-Y se encuentran dentro de los valores permisibles por la normativa vigente para el material predominante del sistema constructivo.

3.1.9.2. Periodos fundamentales y modos de vibración

La norma técnica E.030 señala que en cada dirección se deben considerar aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total; este requisito fue cumplido empleando 10 modos de vibración en el análisis estructural.

Tabla 34

Periodo fundamentales y masa participante: Alternativa 01

Modo	Periodo (s)	MUX	MUY	ΣUX	ΣUY
1	0.071062	0.024	0.002	0.024	0.002
2	0.070532	0.019	0.004	0.042	0.006
3	0.065150	0.086	0.006	0.129	0.012
4	0.064629	0.006	0.076	0.134	0.089
5	0.050288	0.000	0.376	0.135	0.464
6	0.044955	0.292	0.001	0.427	0.466
7	0.039929	0.003	0.128	0.430	0.594
8	0.033115	0.104	0.001	0.534	0.595
9	0.022719	0.000	0.388	0.534	0.984
10	0.018828	0.455	0.000	0.989	0.984

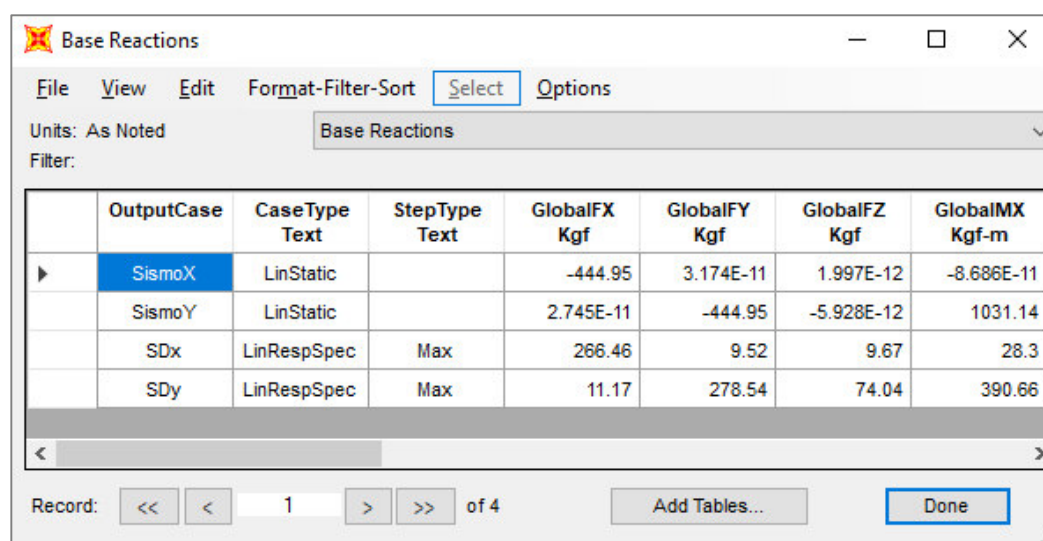
Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 34 se observa que en el noveno modo de vibración participa la mayor cantidad de masa en la dirección Y, en tanto que en la dirección X esta condición se produce para el décimo modo de vibración. Los periodos fundamentales son relativamente bajos debido principalmente a que el sistema estructural es liviano.

Asimismo, en la Tabla 34 se advierte que hay modos de vibración en los cuales participan menor cantidad de masa efectiva, estos corresponden a movimientos individuales de los muros del sistema.

3.1.9.3. Cortante Basal Estático y Dinámico

Luego de haber realizado el análisis estático y dinámico, y haber efectuado la verificación de la rigidez mediante el control de las distorsiones de entrepiso; la norma técnica E.030 indica que, para efectos de diseño, la fuerza cortante en el primer entrepiso de la estructura, no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante obtenida del análisis estático para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares. En caso no se cumpla esta condición, es necesario escalar los efectos del análisis modal espectral, a fin de que sea igual al valor mínimo establecido



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf	GlobalMX Kgf-m
▶	SismoX	LinStatic		-444.95	3.174E-11	1.997E-12	-8.686E-11
	SismoY	LinStatic		2.745E-11	-444.95	-5.928E-12	1031.14
	SDx	LinRespSpec	Max	266.46	9.52	9.67	28.3
	SDy	LinRespSpec	Max	11.17	278.54	74.04	390.66

Record: << < 1 > >> of 4 Add Tables... Done

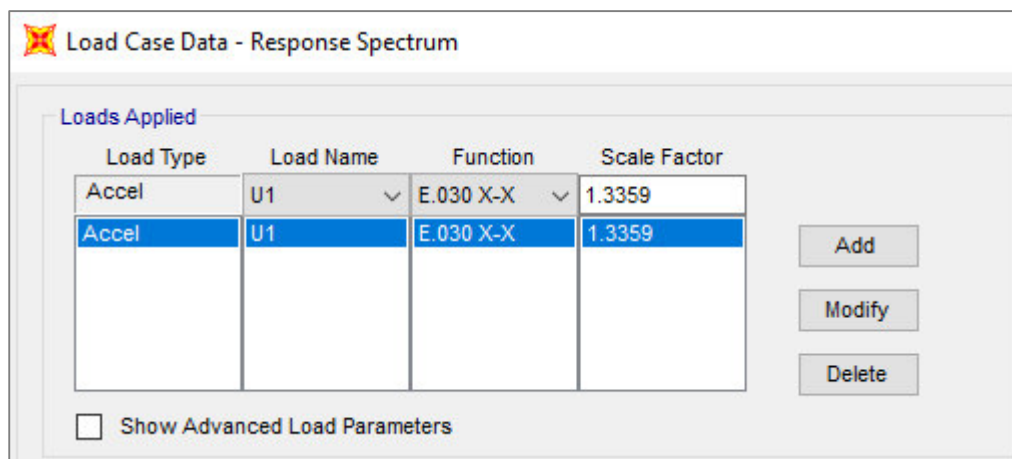
Figura 50. Fuerza Cortante Basal del Análisis Estático y Dinámico: Alternativa 01

Tabla 35

Factor escalar para el Cortante Dinámico – Alternativa 01

Descripción	Und	SDX	SDY
Cortante Basal Estático	kgf	444.95	444.95
80% Cortante Basal Estático	kgf	355.96	355.96
Cortante Basal Dinámico	kgf	266.46	278.54
Factor Escalar	-	1.33589	1.27795

Una vez determinados los factores de relación que permiten satisfacer la condición mínima establecida por la norma técnica E.030, se procede a escalar los resultados, sin ser necesario realizar una nueva verificación de las distorsiones, puesto que esta disposición es aplicable para efectos del diseño estructural de los elementos.



Load Case Data - Response Spectrum

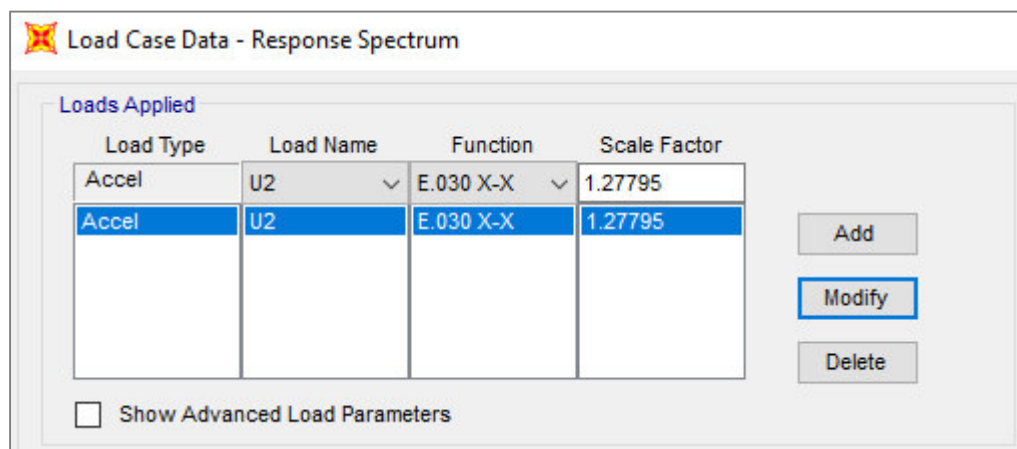
Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	E.030 X-X	1.3359
Accel	U1	E.030 X-X	1.3359

☐ Show Advanced Load Parameters

Buttons: Add, Modify, Delete

Figura 51. Factor Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Longitudinal: Alternativa 01



Load Case Data - Response Spectrum

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	E.030 X-X	1.27795
Accel	U2	E.030 X-X	1.27795

☐ Show Advanced Load Parameters

Buttons: Add, Modify, Delete

Figura 52. Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Transversal: Alternativa 01

Habiéndose modificado el factor de escala, el cortante dinámico alcanza el 80% del valor del cortante estático, con lo cual se finaliza el análisis de la estructura y se procede con el diseño de los elementos.

3.1.10. Diseño Estructural

El diseño de los elementos estructurales se realizó por el método de esfuerzos admisibles (ASD), el cual indica que los esfuerzos admisibles de cada sistema o componente estructural deberán ser iguales o mayores a los esfuerzos debido a las cargas externas y sus combinaciones (esfuerzos actuantes).

Los esfuerzos admisibles fueron definidos en el numeral 3.1.3 del presente capítulo; los esfuerzos actuantes se obtienen del análisis estructural realizado en el numeral anterior y de acuerdo con las combinaciones de carga definidas en el numeral 3.1.2.

Los esfuerzos actuantes sobre los paneles sándwich son calculados por el programa SAP2000 sobre la base de la mecánica de materiales para elementos del tipo *Shell*; los esfuerzos que se tendrán en cuenta en la presente investigación, son los denominados σ_{11} y σ_{22} los cuales indican el esfuerzo normal sobre la cara del elemento en la dirección establecida por el eje de referencia, asimismo, el esfuerzo σ_{12} corresponde al esfuerzo cortante en el elemento *Shell*.

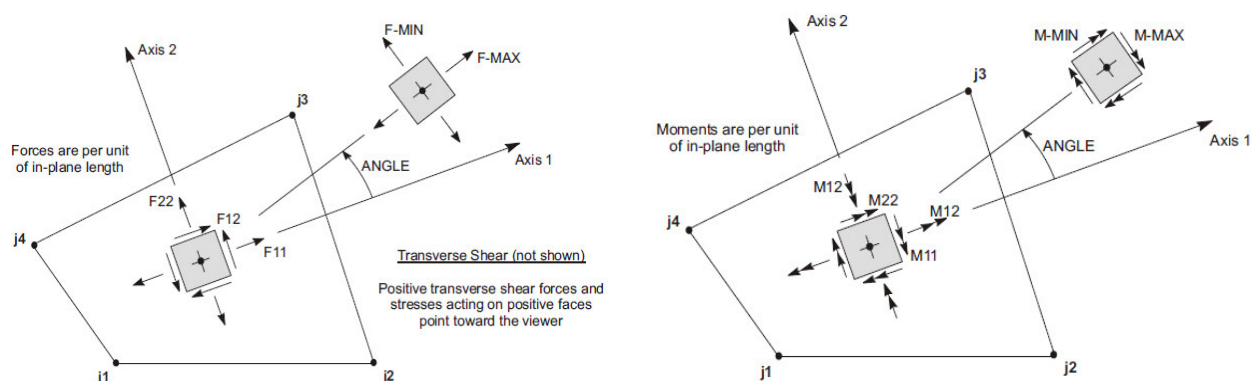


Figura 53. Esfuerzos, fuerzas y momentos internos resultantes en elementos SHELL

$$\sigma_{11} = \frac{F_{11}}{th} - \frac{12M_{11}}{thb^3}x_3$$

$$\sigma_{22} = \frac{F_{22}}{th} - \frac{12M_{22}}{thb^3}x_3$$

$$\sigma_{12} = \frac{F_{12}}{th} - \frac{12M_{12}}{thb^3}x_3$$

Donde:

F_{11}, M_{11}	: Fuerza y Momento aplicados sobre el plano 1 en la dirección 1
F_{22}, M_{22}	: Fuerza y Momento aplicados sobre el plano 2 en la dirección 2
F_{12}, M_{12}	: Fuerza y Momento aplicados sobre el plano 1 en la dirección 2
th	: Espesor de la membrana correspondiente al <i>Shell</i>
thb	: Espesor del arco correspondiente al <i>Shell</i>

3.1.10.1. Muro Fachada

Los esfuerzos de tensión a la compresión en la dirección horizontal S11 y S22, y el esfuerzo cortante en la dirección S12, son los mostrados en las siguientes figuras:

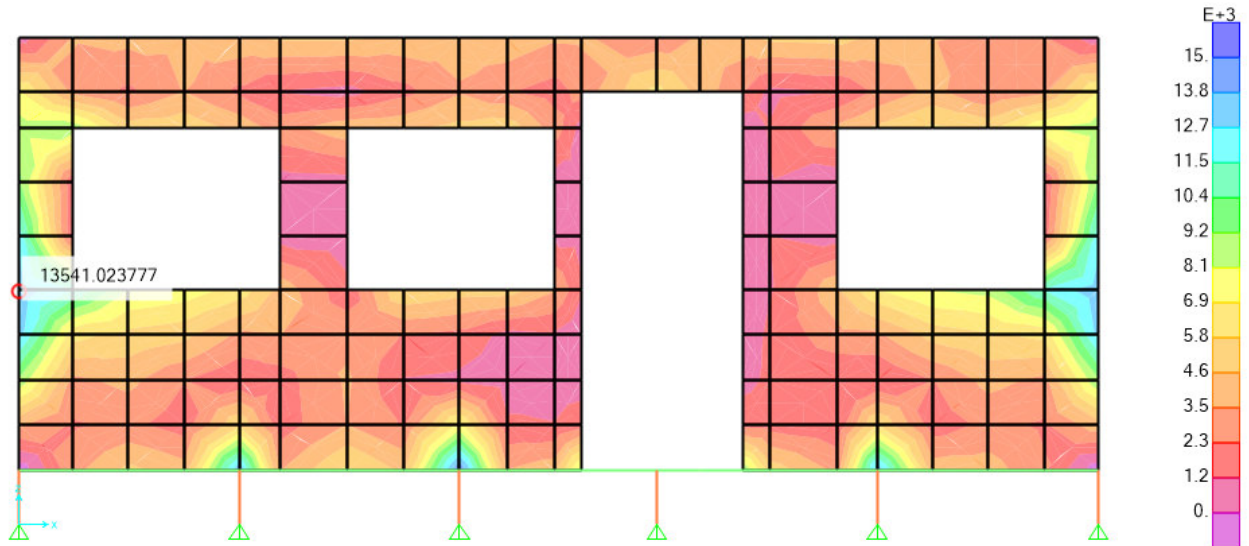


Figura 54. Esfuerzo Máximo de Compresión (S11) en Muro de Fachada: Alternativa 01

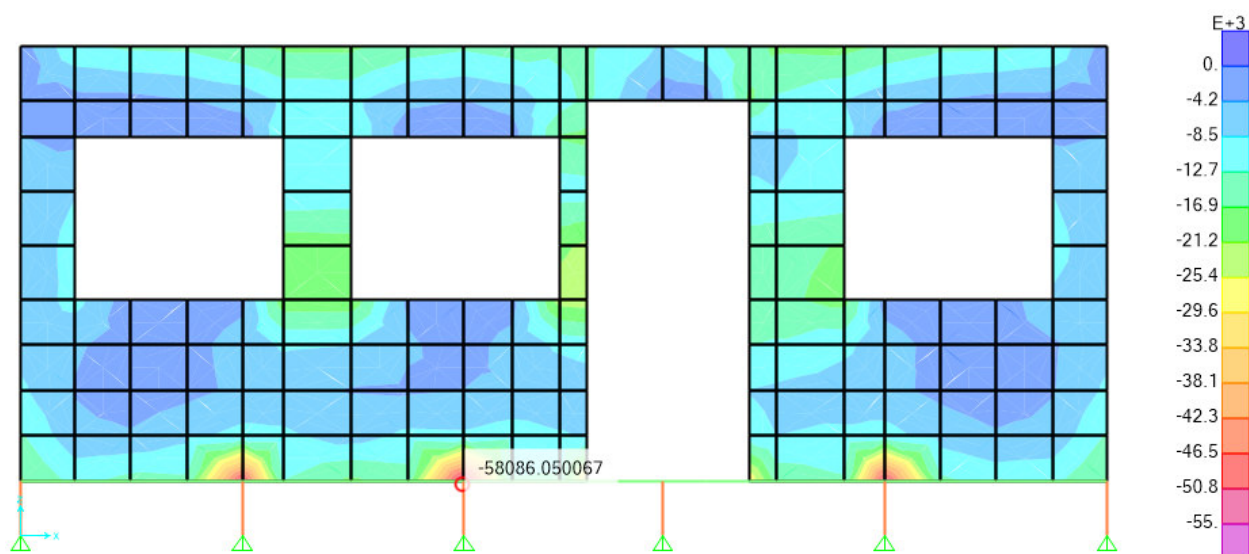


Figura 55. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Muro de Fachada: Alternativa 01

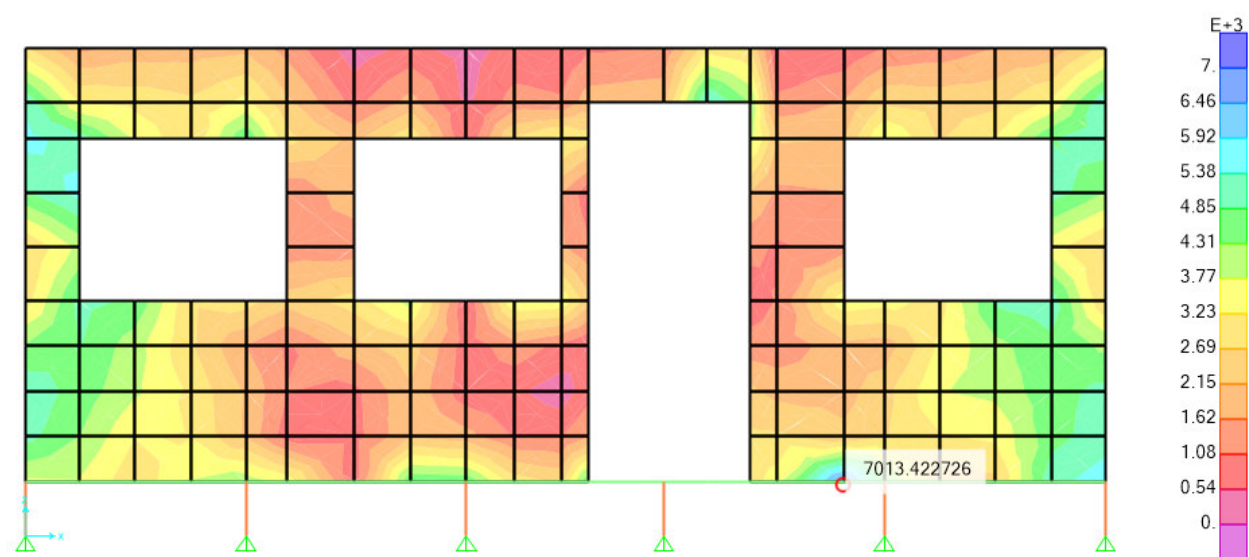


Figura 56. Esfuerzo Máximo de Compresión (S12) en Muro de Fachada: Alternativa 01

Los máximos esfuerzos de compresión y corte mostrados en las figuras anteriores están expresados en kg/m^2 , no obstante, para poder ser comparados con los esfuerzos admisibles se convirtieron a kg/cm^2 en la siguiente tabla.

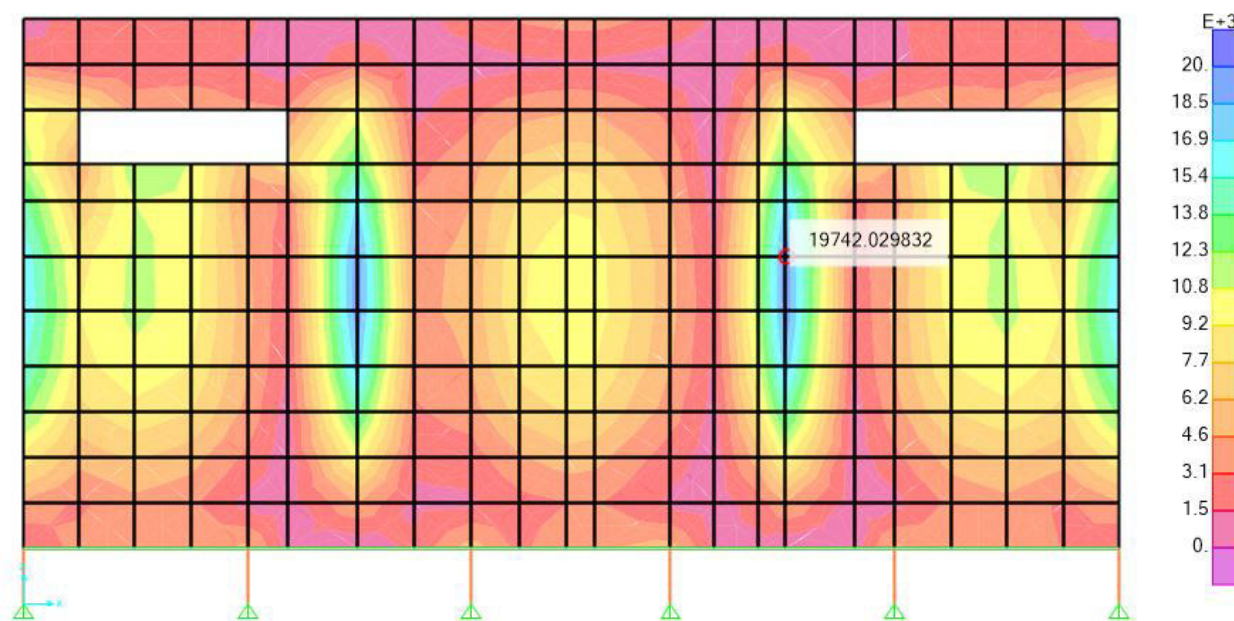
Tabla 36*Comparación entre esfuerzos actuantes y resistentes en el muro fachada*

Dirección	Combinación de Carga*	Esfuerzo Actuante (Kg/cm ²)	Esfuerzo admisible (Kg/cm ²)	Porcentaje de capacidad (%)
σ_{S11}	D + Wy2	1.35	7.17	18.83
σ_{S22}	0.75(D + L + Lr + Wy1)	5.81	7.17	81.03
σ_{S12}	0.75(D + L + Lr + Wy1)	0.70	1.04	67.31

(*) Las combinaciones de carga son las definidas en el numeral 3.1.2.

Nota. Elaboración propia.**3.1.10.2. Muro Posterior**

Los esfuerzos de tensión a la compresión en la dirección horizontal S11 y S22, y el esfuerzo cortante en la dirección S12, son los mostrados en las siguientes figuras:

**Figura 57.** Máximo de Compresión (S11) en Muro Posterior: Alternativa 01

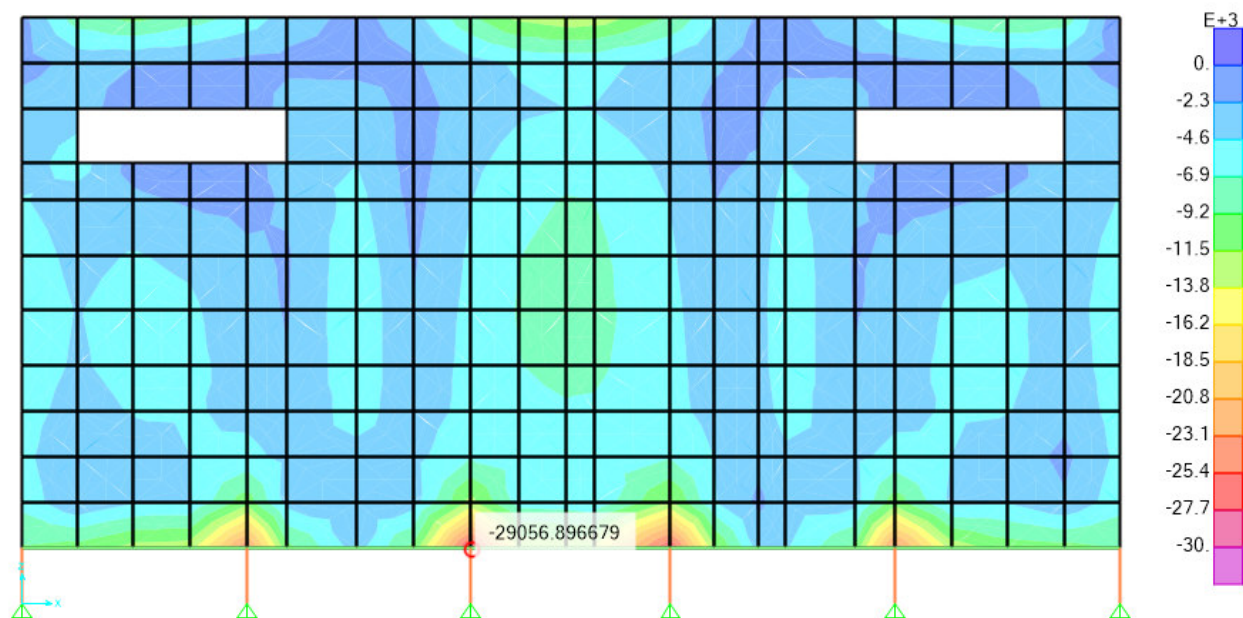


Figura 58. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Muro Posterior: Alternativa 01

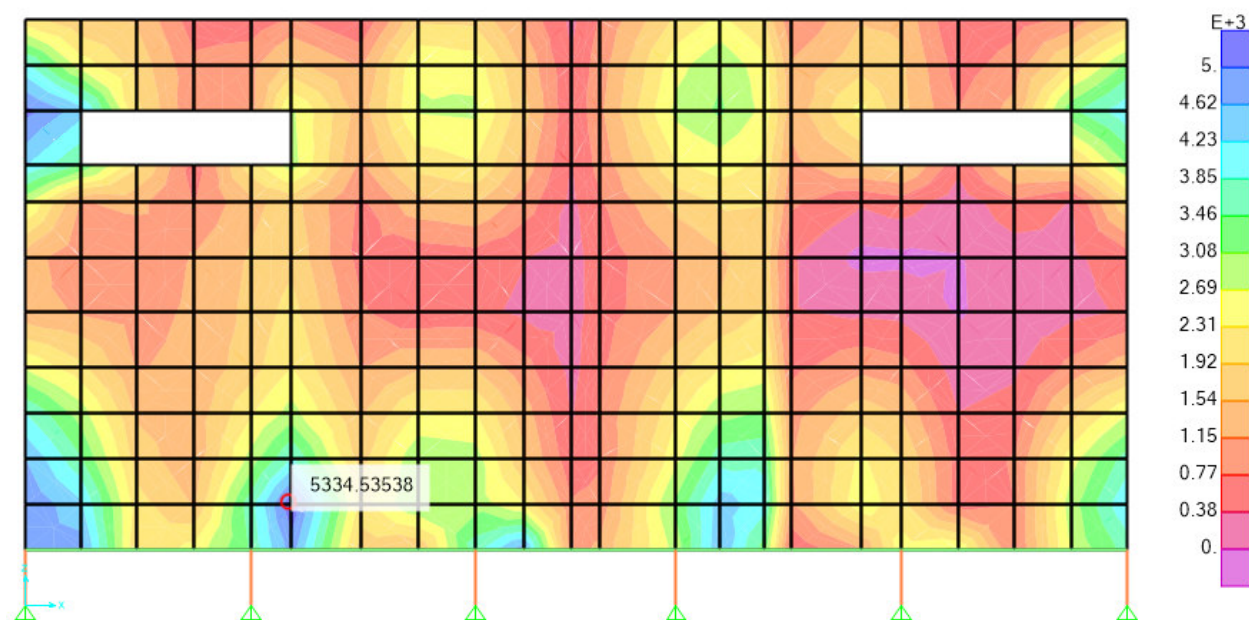


Figura 59. Esfuerzo Máximo Cortante (S12) en Muro Posterior: Alternativa 02

Los máximos esfuerzos de compresión y corte mostrados en las figuras anteriores están expresados en kg/m^2 , no obstante, para poder ser comparados con los esfuerzos admisibles se convirtieron a kg/cm^2 en la siguiente tabla:

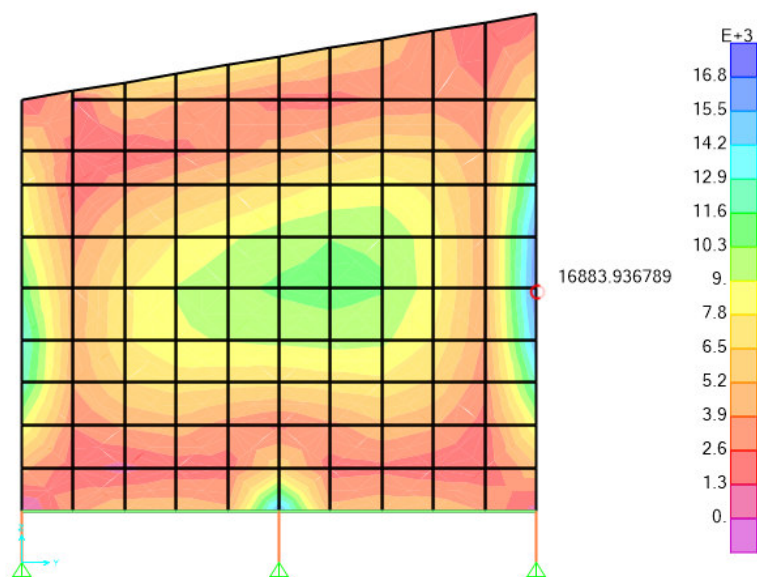
Tabla 37*Esfuerzos Actuantes y Admisibles en Muro Posterior: Alternativa 01*

Dirección	Combinación de Carga*	Esfuerzo Actuante (Kg/cm ²)	Esfuerzo Admisible (Kg/cm ²)	Porcentaje de capacidad (%)
σ_{S11}	D + Wy2	1.97	7.17	27.48
σ_{S22}	0.75(D + L + Lr + Wy2)	2.91	7.17	40.59
σ_{S12}	0.75(D + L + Lr + Wy2)	0.53	1.04	50.96

(*) Las combinaciones de carga son las definidas en el numeral 3.1.2.

Nota. Elaboración propia.**3.1.10.3. Muros laterales o tímpanos**

Los esfuerzos de tensión a la compresión en la dirección horizontal S11 y S22, y el esfuerzo cortante en la dirección S12, son los mostrados en la siguiente figura:

**Figura 60.** Esfuerzo Máximo de Compresión (S11) en Muro Lateral: Alternativa 01.

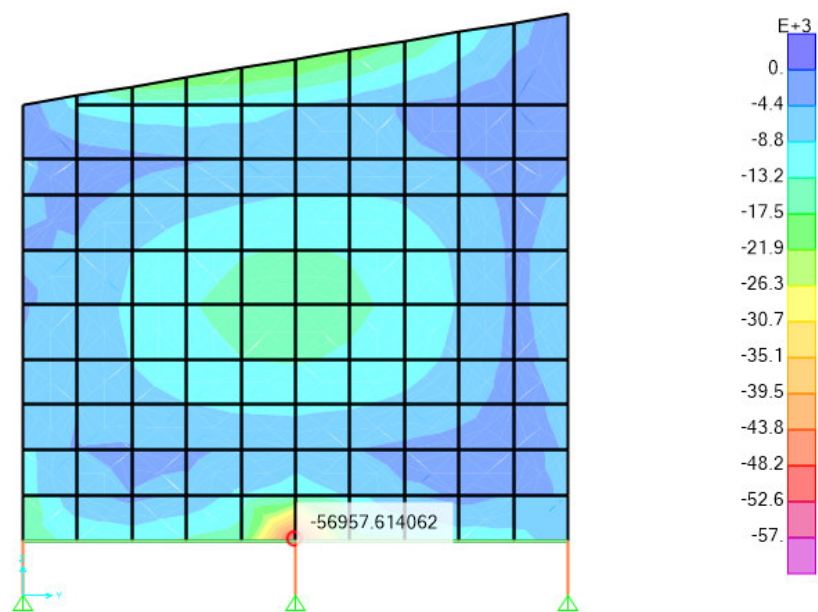


Figura 61. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Muro Lateral: Alternativa 01

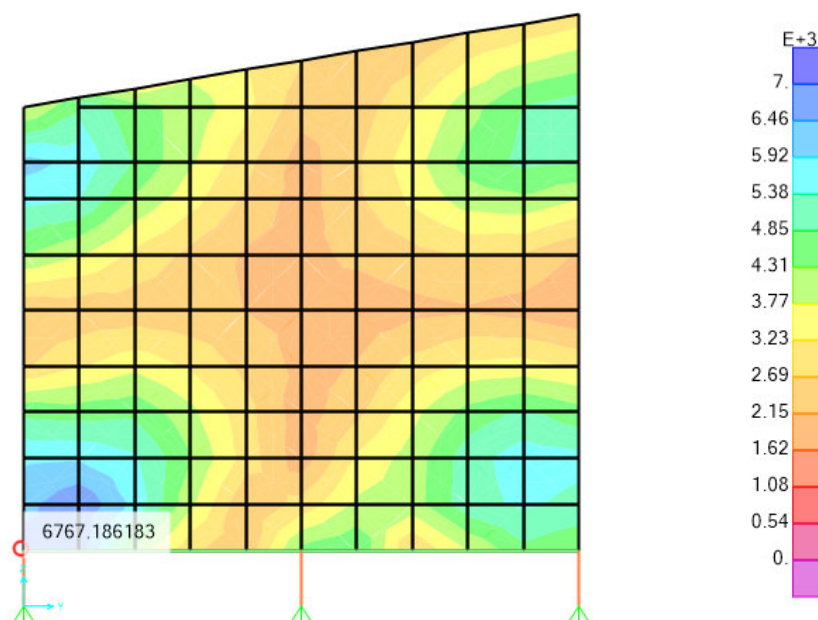


Figura 62. Esfuerzo Máximo Cortante (S12) en Muro Lateral: Alternativa 01

Los máximos esfuerzos de compresión y corte mostrados en las figuras anteriores están expresados en kg/m^2 , no obstante, para poder ser comparados con los esfuerzos admisibles se convirtieron a kg/cm^2 en la siguiente tabla.

Tabla 38

Esfuerzos Actuantes y Admisibles en Muro Lateral: Alternativa 01

Dirección	Combinación de Carga*	Esfuerzo Actuante (Kg/cm^2)	Esfuerzo admisible (Kg/cm^2)	Porcentaje de capacidad (%)
σ_{S11}	D + Wy1	1.68	7.17	23.43
σ_{S22}	0.75(D + L+ Lr+ Wx)	5.69	7.17	79.36
σ_{S12}	0.75(D + L+ Lr+ Wx)	0.68	1.04	65.38

(*) Las combinaciones de carga son las definidas en el numeral 3.1.2.

Nota. Elaboración propia.

3.1.10.4. Techo o cobertura

Los esfuerzos de tensión a la compresión en la dirección horizontal S11 y S22, y el esfuerzo cortante en la dirección S12, son los mostrados en la siguiente figura:

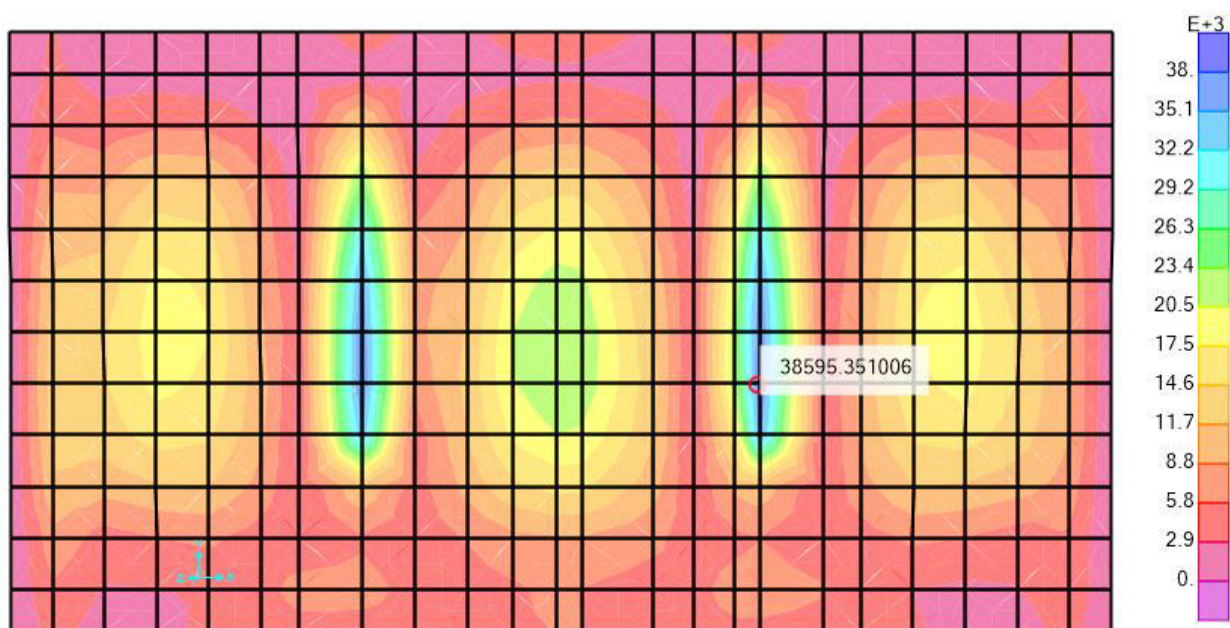


Figura 63. Esfuerzo Máximo de Compresión (S11) en Cobertura: Alternativa 01.

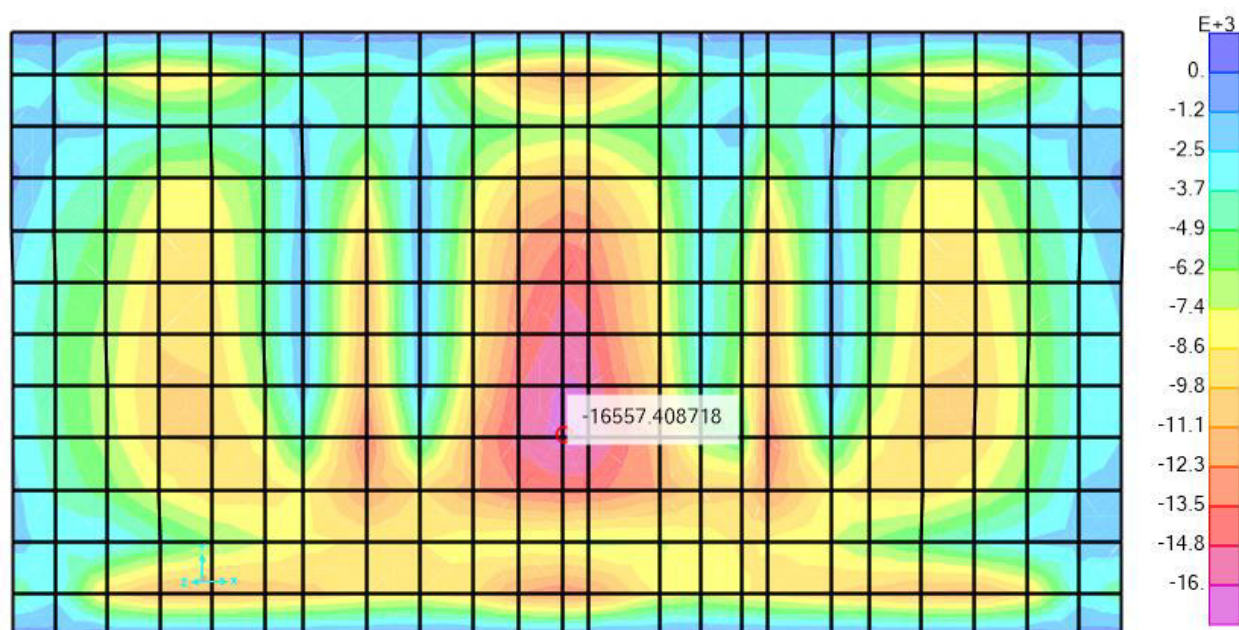


Figura 64. Esfuerzo Máximo de Compresión (S22) en Cobertura: Alternativa 01

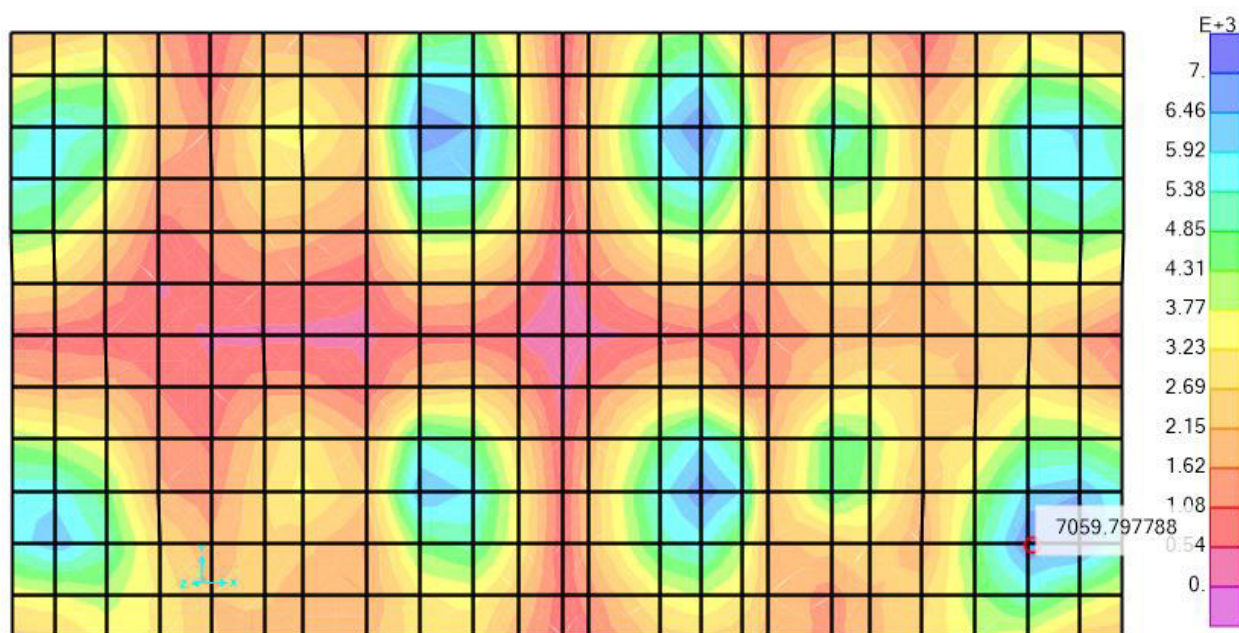


Figura 65. Esfuerzo Máximo Cortante (S12) en Cobertura: Alternativa 01

Los máximos esfuerzos de compresión y corte mostrados en las figuras anteriores están expresados en kg/m^2 , no obstante, para poder ser comparados con los esfuerzos admisibles se convirtieron a kg/cm^2 en la siguiente tabla.

Tabla 39

Esfuerzos Actuantes y Admisibles en Cobertura: Alternativa 01

Dirección	Combinación de Carga*	Esfuerzo Actuante (Kg/cm^2)	Esfuerzo admisible (Kg/cm^2)	Porcentaje de capacidad (%)
σ_{S11}	D + L + Lr	3.86	7.17	53.84
σ_{S22}	D + L + Lr	1.66	7.17	23.15
σ_{S12}	D + L + Lr	0.71	1.04	68.27

(*) Las combinaciones de carga son las definidas en el numeral 3.1.2.

Nota. Elaboración propia.

3.1.10.5. Perfil Y

Como se detalló en la Figura 34, los perfiles Y están ubicados en el perímetro de la plataforma. El máximo momento flector en la dirección 3-3 es el siguiente:

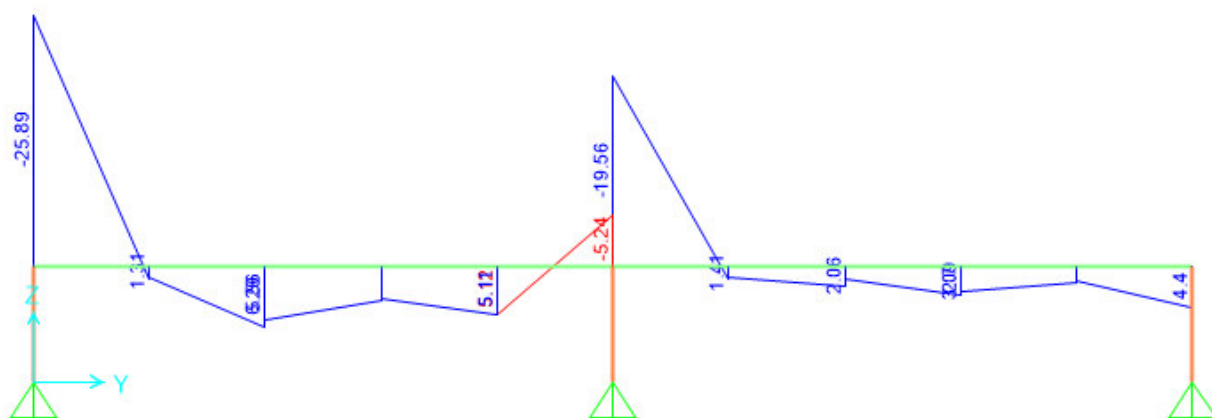


Figura 66. Perfil Y - Máximo momento actuante en Kg-m: Alternativa 01

Las dimensiones del perfil Y, y sus propiedades geométricas son las siguientes:

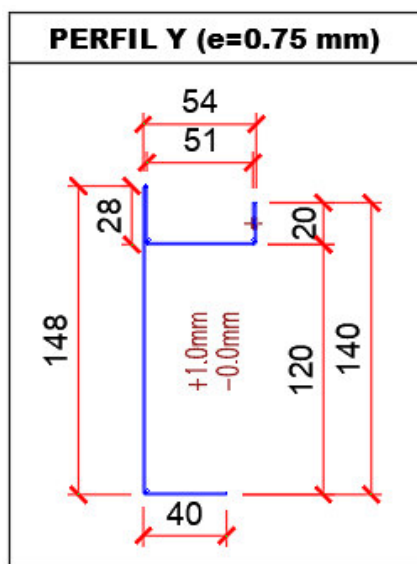


Figura 67. Dimensiones del Perfil Y (en mm): Alternativa 01

Tabla 40*Propiedades del perfil Y: Alternativa 01*

Propiedad	Símbolo	Valor
Momento de inercia en la dirección 3-3	I_{3-3}	57.33 cm ⁴
Momento de inercia en la dirección 2-2	I_{2-2}	7.93 cm ⁴
Radio de giro en la dirección 3-3	r_3	5.08 cm
Radio de giro en la dirección 2-2	r_2	1.89 cm
Módulo de sección en la dirección 3-3	S_3	6.83 cm ³
Módulo de sección en la dirección 2-2	S_2	1.93 cm ³

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estructural, el momento actuante máximo sobre la sección es:

$$M_{3-3} = 25.89 \text{ kg} - m = 2589 \text{ kg} - cm$$

Por lo tanto, el esfuerzo actuante en la viga es:

$$F_s = \frac{M}{S} = \frac{2589}{6.83} = 409.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo admisible de la sección es:

$$F_b = 0.60 \times F_y = 0.60 \times 2811 = 1686.60 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_s < F_b$$

De esta manera se evidencia que el esfuerzo admisible es menor que el esfuerzo actuante, por lo que el perfil Y tiene un adecuado comportamiento a flexión.

3.1.10.6. Perfil J

Como se detalló en la Figura 34, los perfiles J están ubicados en el interior de la plataforma.

El máximo momento flector en la dirección 3-3 es el siguiente:

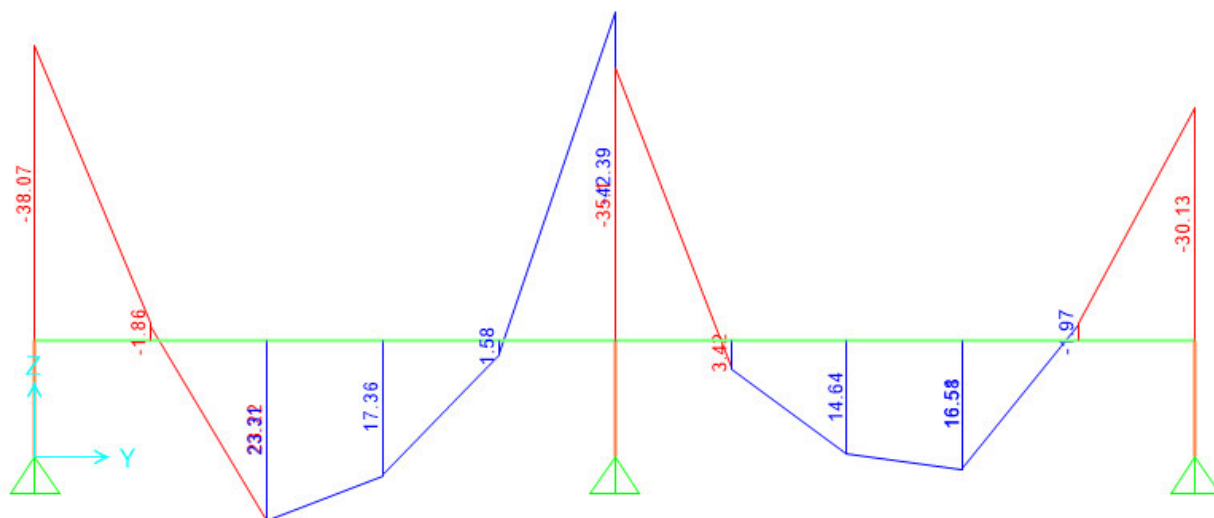


Figura 68. Perfil J - Máximo momento actuante en Kg-m: Alternativa 01

Las dimensiones del perfil J, y sus propiedades geométricas son las siguientes:

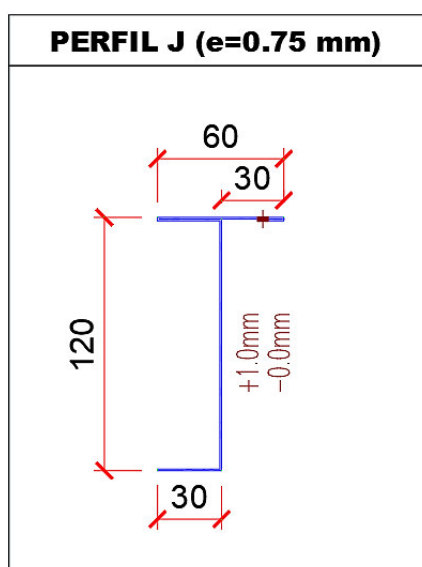


Figura 69. Dimensiones del Perfil J (en mm): Alternativa 01

Tabla 41
Propiedades del perfil J: Alternativa 01

Propiedad	Símbolo	Valor
Momento de inercia en la dirección 3-3	I_{3-3}	39.99 cm ⁴
Momento de inercia en la dirección 2-2	I_{2-2}	3.06 cm ⁴
Radio de giro en la dirección 3-3	r_3	4.63 cm
Radio de giro en la dirección 2-2	r_2	1.28 cm
Módulo de sección en la dirección 3-3	S_3	5.21 cm ³
Módulo de sección en la dirección 2-2	S_2	0.94 cm ³

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estructural, el momento actuante máximo sobre la sección es:

$$M_{3-3} = 42.39 \text{ kg} - \text{m} = 4239 \text{ kg} - \text{cm}$$

Por lo tanto, el esfuerzo actuante en la viga es:

$$F_s = \frac{M}{S} = \frac{4239}{5.21} = 813.63 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo admisible de la sección es:

$$F_b = 0.60 \times F_y = 0.60 \times 2811 = 1686.60 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_s < F_b$$

De esta manera se evidencia que el esfuerzo admisible es menor que el esfuerzo actuante, por lo que el perfil J tiene un adecuado comportamiento a flexión.

3.1.10.7. Perfil C

Como se detalló en la Figura 34, los perfiles C son las correas y están ubicados en el interior de la plataforma. El máximo momento flector en la dirección 3-3 es el siguiente:

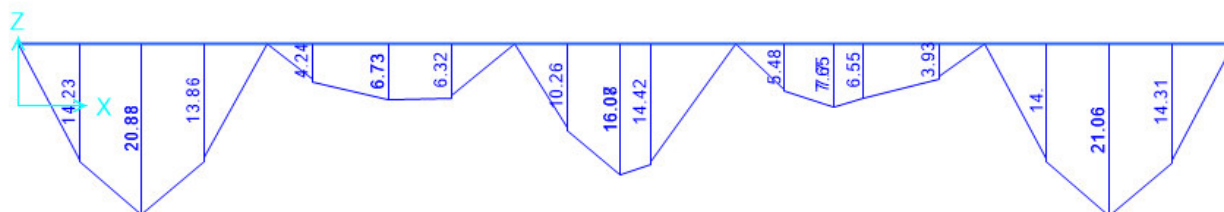


Figura 70. Perfil C - Máximo momento actuante en Kg-m: Alternativa 01

Las dimensiones del perfil C, y sus propiedades geométricas son las siguientes:

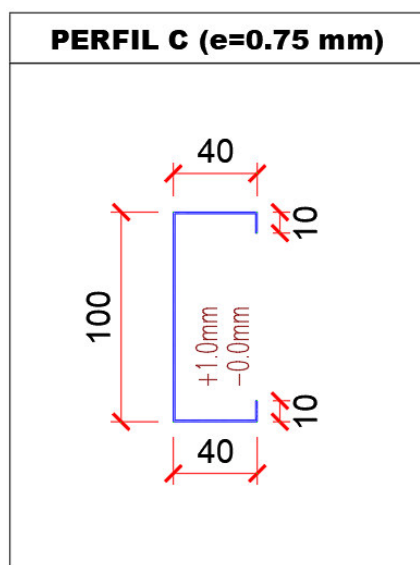


Figura 71. Dimensiones del Perfil C (en mm): Alternativa 01

Tabla 42*Propiedades del perfil C: Alternativa 01*

Propiedad	Símbolo	Valor
Momento de inercia en la dirección 3-3	I_{3-3}	23.52 cm ⁴
Momento de inercia en la dirección 2-2	I_{2-2}	3.24 cm ⁴
Radio de giro en la dirección 3-3	r_3	3.99 cm
Radio de giro en la dirección 2-2	r_2	1.48 cm
Módulo de sección en la dirección 3-3	S_3	5.89 cm ³
Módulo de sección en la dirección 2-2	S_2	2.19 cm ³

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estructural, el momento actuante máximo sobre la sección es:

$$M_{3-3} = 21.06 \text{ kg} - m = 2106 \text{ kg} - cm$$

Por lo tanto, el esfuerzo actuante en la viga es:

$$F_s = \frac{M}{S} = \frac{2106}{5.89} = 357.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

El esfuerzo admisible de la sección es:

$$F_b = 0.60 \times F_y = 0.60 \times 2811 = 1686.60 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_s < F_b$$

De esta manera se evidencia que el esfuerzo admisible es menor que el esfuerzo actuante, por lo que el perfil C tiene un adecuado comportamiento a flexión.

3.2. Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento

3.2.1. Características del Sistema Estructural

En el numeral 2.1.2, se estableció una superficie de 3.00 m x 6.00 m = 18.00 m² como área bruta para la modulación de cada MTV. Las características principales de la Alternativa B, que representa al sistema de entramados de madera con revestimiento de fibrocemento, se resumen a continuación en la Tabla 43:

Tabla 43

Características de MTV en base al Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento

Elemento	Componentes	Dimensiones	Especificaciones
Muros Portantes Perimetrales	Pie Derecho	2"x2"	Pino Radiata
	Solera Superior	2"x2"	Pino Radiata
	Solera Inferior	2"x2"	Pino Radiata
	Material Aislante	e=50 mm	Lana de Vidrio
	Placa de Fibrocemento	e= 6.0 mm	Superboard
Cobertura*	Plancha de Fibrocemento	e= 5.0 mm	Modelo Gran Onda
	Correas	2"x3"	Pino Radiata
	Material Aislante	e=50 mm	Lana de Vidrio
	Placa de Fibrocemento	e= 6.0 mm	Superboard
Conexiones	Pernos	6"	Cabeza de Coche
Plataforma	Vigas Perimetrales	2"x6"x8"+2"x4"x8"	Pino Radiata
	Correas Intermedias	2"x4"	Pino Radiata
	Tablero Principal	e= 18.0 mm	Triplay Fenólico
Cimentación**	Pilares de Madera	D=5"; H=2.5'	Pino Radiata

(*) Cobertura a una sola agua, con pendiente de 16.95%, alturas de muro h₁=2.90m y h₂=2.44m.

(**) Los pilares deben enterrarse a una profundidad mínima de 30cm.

Nota. Elaboración propia.

3.2.2. Consideraciones de Análisis Estructural

Las combinaciones de carga consideradas para el análisis estructural del sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento se encuentran a base a lo establecido por la norma técnica E.010 Madera, puesto que las listonerías presentes en los componentes del sistema constituyen el material que determina su rigidez y resistencia. A continuación, se detallan las combinaciones de carga aplicables para la metodología de diseño por esfuerzos admisibles.

a. Combinaciones de Carga

Se considerarán las siguientes combinaciones de carga para el análisis:

- (1) D
- (2) $D + L + L_r$
- (3) $D + W_x$
- (4) $D + W_{1x}$
- (5) $D + W_y$
- (6) $D + 0.70 E_x$
- (7) $D - 0.70 E_x$
- (8) $D + 0.70 E_y$
- (9) $D - 0.70 E_y$
- (10) $0.75 (D + L + L_r + W_x)$
- (11) $0.75 (D + L + L_r + W_{1x})$
- (12) $0.75 (D + L + L_r + W_y)$
- (13) $0.75 (D + L + L_r + 0.70 E_x)$
- (14) $0.75 (D + L + L_r - 0.70 E_x)$
- (15) $0.75 (D + L + L_r + 0.70 E_y)$
- (16) $0.75 (D + L + L_r - 0.70 E_y)$

Donde:

D	: Carga muerta debida al peso propio de los elementos y los efectos permanentes sobre la estructura
L	: Carga viva debida al mobiliario y ocupantes
L_r	: Carga viva en azoteas
W	: Carga de viento
E	: Carga de sismo de acuerdo a la norma técnica E.030

b. Parámetros Sísmicos

A continuación, se definen los parámetros sísmicos que serán empleados en la metodología de análisis estático (fuerza lateral equivalente) y dinámico (análisis modal de respuesta espectral):

Tabla 44

Parámetros Sísmicos: Sistema de Entramados de Madera Revestidos con Fibrocemento

Descripción	Símbolo	Valor	Observación
Factor de Zona	Z	0.45	Piura – Zona 4
Factor de Suelo	S	1.10	S3 – Suelo Blando
Factor de Amplificación Sísmica*	C	2.50	Caso $T < T_P$
<i>Periodo fundamental de vibración</i>	T	0.05	$h=3.00\text{m}$, $C_T=60$
<i>Periodo que define la plataforma del factor C</i>	T_P	1.00	Perfil de Suelo S3
<i>Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante</i>	T_L	1.60	Perfil de Suelo S3
Factor de Reducción (X-X)**	R_x	7.00	-
<i>Coeficiente Básico de Reducción</i>	R_o	7.00	Madera
<i>Factor de Irregularidad en Altura</i>	I_a	1.00	Estructura Regular
<i>Factor de Irregularidad en Piso</i>	I_p	1.00	Estructura Regular
Factor de Reducción (Y-Y)**	R_y	7.00	-
<i>Coeficiente Básico de Reducción</i>	R_o	7.00	Madera
<i>Factor de Irregularidad en Altura</i>	I_a	1.00	Estructura Regular
<i>Factor de Irregularidad en Piso</i>	I_p	1.00	Estructura Regular
Factor de Uso o Importancia	U	1.00	C - Edificación Común

(*) El factor de amplificación sísmica queda definido por las expresiones:

$$\text{Si } T < T_P ; C = 2.50$$

$$\text{Si } T_P < T < T_L ; C = 2.50 \cdot \left(\frac{T_P}{T_L} \right)$$

$$\text{Si } T > T_L ; C = 2.50 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

(**) El coeficiente de reducción de fuerza sísmica R queda definido por la expresión: $R = R_o \cdot I_a \cdot I_p$

Nota. Elaboración propia.

3.2.3. Especificaciones de Materiales

a. Entramados de Madera

- Contenido de Humedad	C.H=12%
- Densidad Promedio	$\rho=420 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad	$E=90\,000 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Flexión	$f_m=100.00 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Tracción Paralela	$f_t=75.00 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Compresión Paralela	$\sigma=80.00 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Compresión Perpendicular	$f_c=15.00 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia al Corte Paralelo	$f_v=8.00 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson	$\mu=0.30$

b. Placa de Fibrocemento

- Densidad Promedio	$\rho=1\,250 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad	$E=69\,330.5 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Flexión	$f_m=91.80 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Tracción Paralela	$f_t=35.40 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Compresión Paralela	$f_c=35.40 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la Compresión Perpendicular	$\sigma=7.00 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia al Corte Paralelo	$f_v=15.30 \text{ kg/cm}^2$

c. Clavos y Conectores Metálicos

- Pernos ASTM A-307 Grado C	$F_y=2,530 \text{ kg/cm}^2$
- Tornillos de acero estructural ISO 1066:1999	$F_y=2,530 \text{ kg/cm}^2$
- Ángulos y accesorios: ASTM A36	$F_y=2,530 \text{ kg/cm}^2$

3.2.4. Configuración Estructural

a. Configuración en Planta

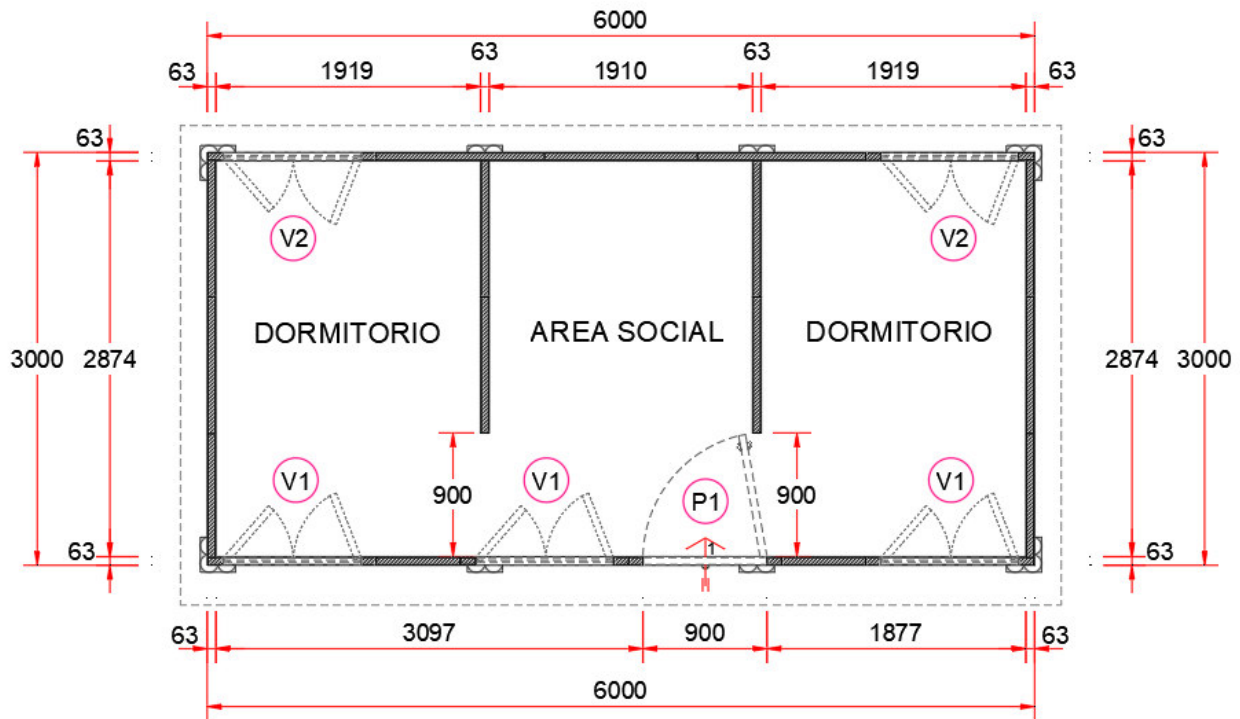


Figura 72. Distribución en Planta de MTV: Alternativa 02

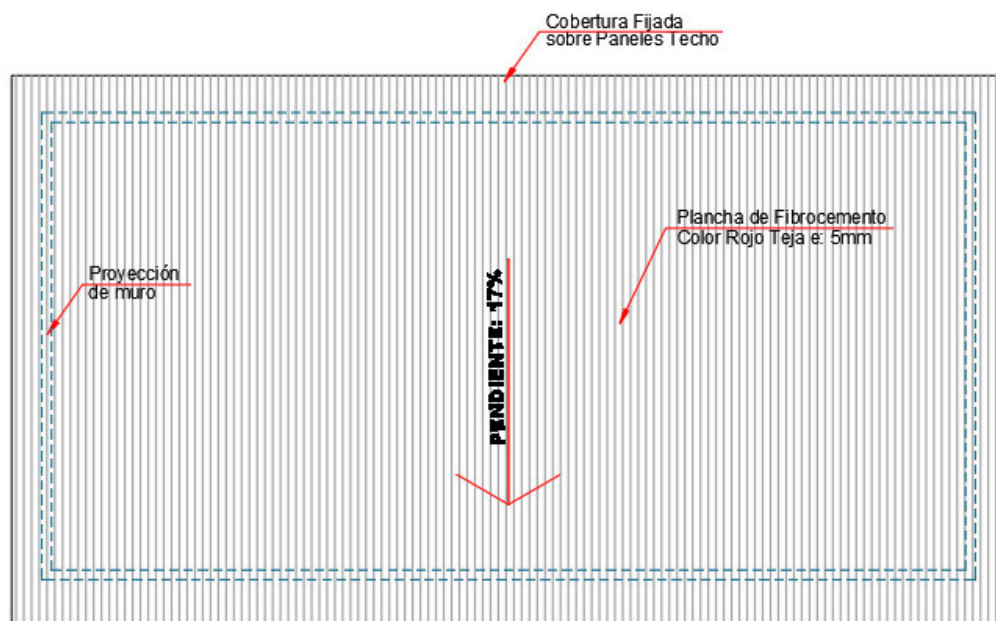


Figura 73. Vista Superior de MTV: Alternativa 02

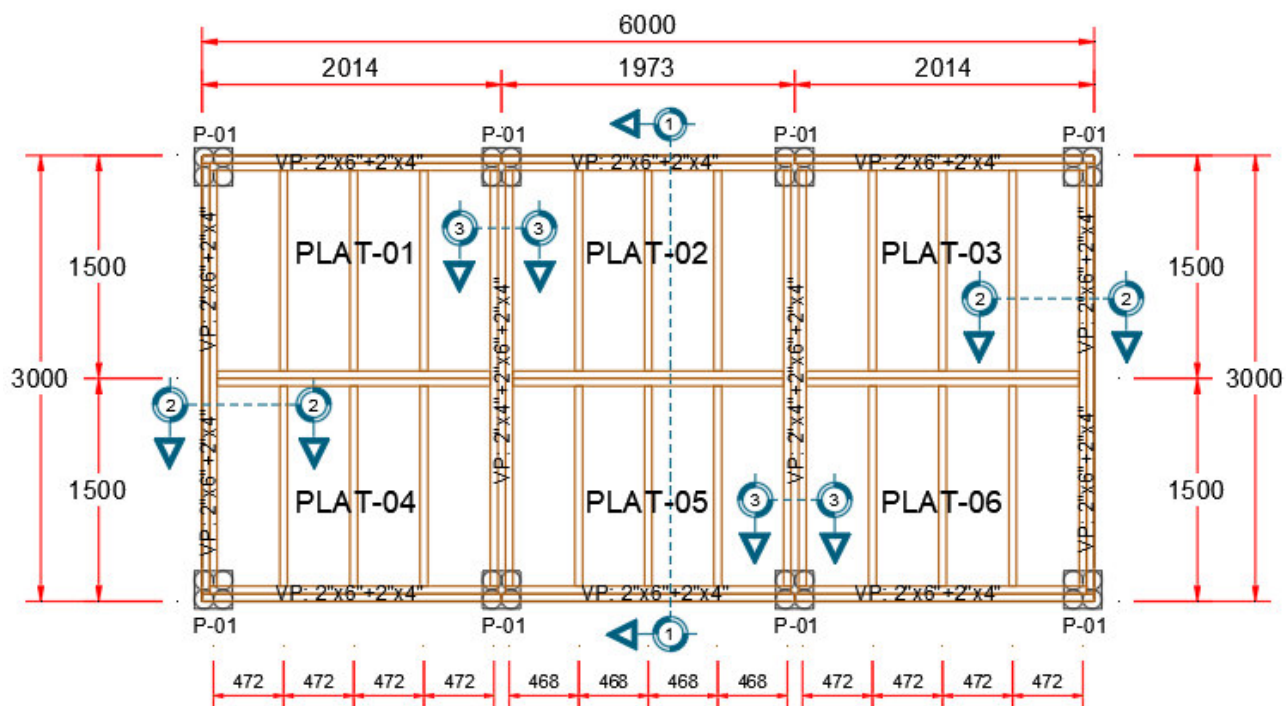
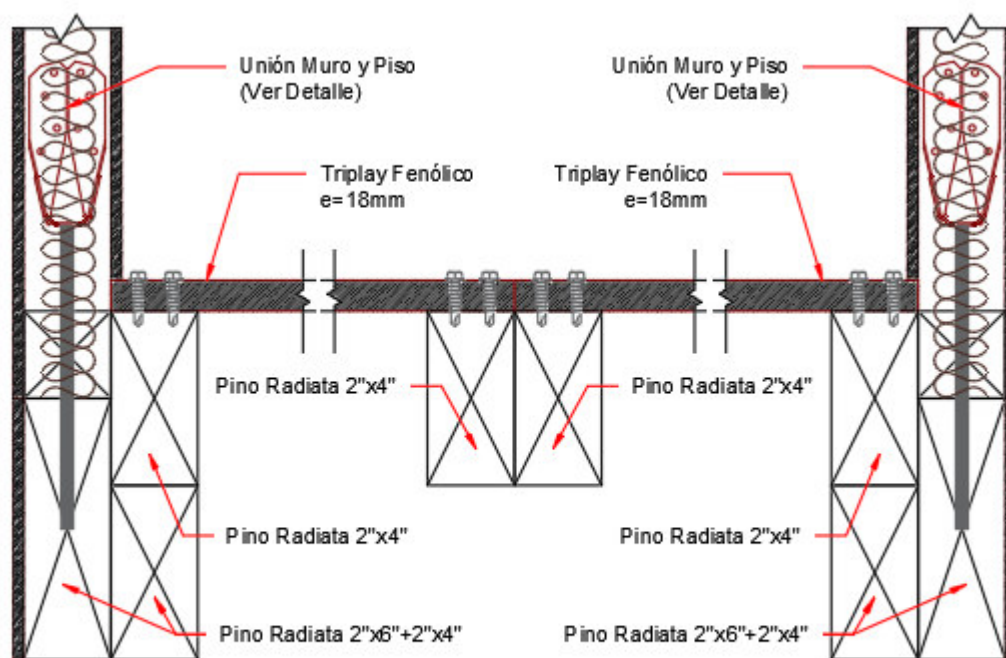
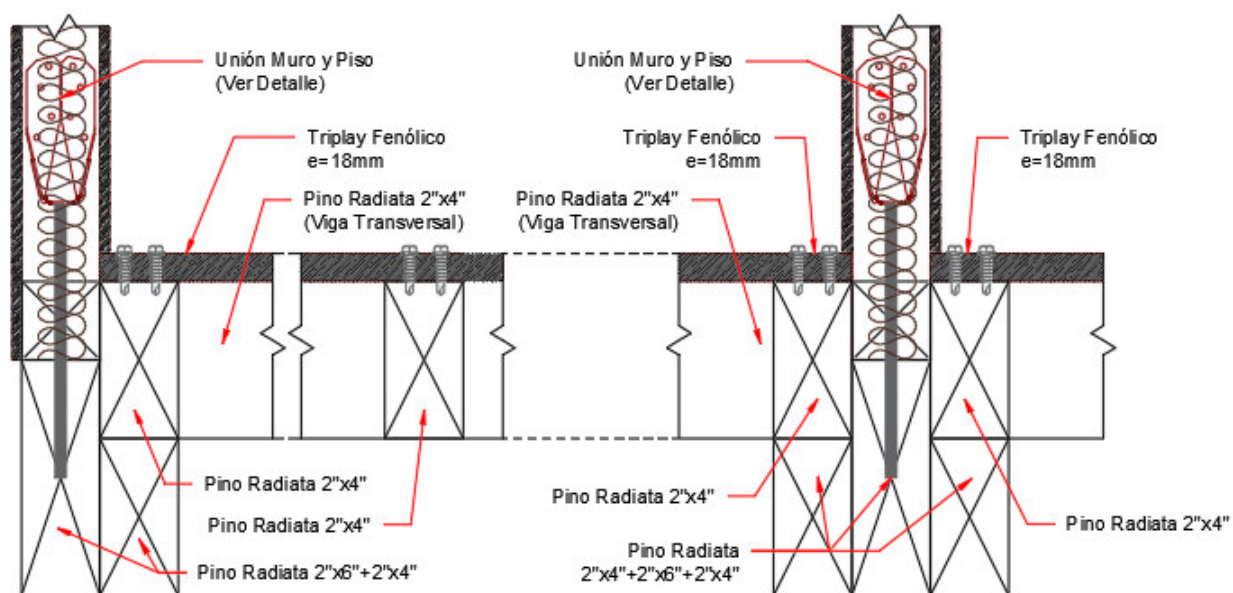


Figura 74. Distribución de Plataforma de MTV: Alternativa 02



SECCION 1-1

Figura 75. Detalle de Sección 1-1 de Plataforma de MTV: Alternativa 02



SECCION 2-2

SECCION 3-3

Figura 76. Detalle de Secciones 2-2 y 3-3 de Plataforma de MTV: Alternativa 02

b. Configuración en Elevación

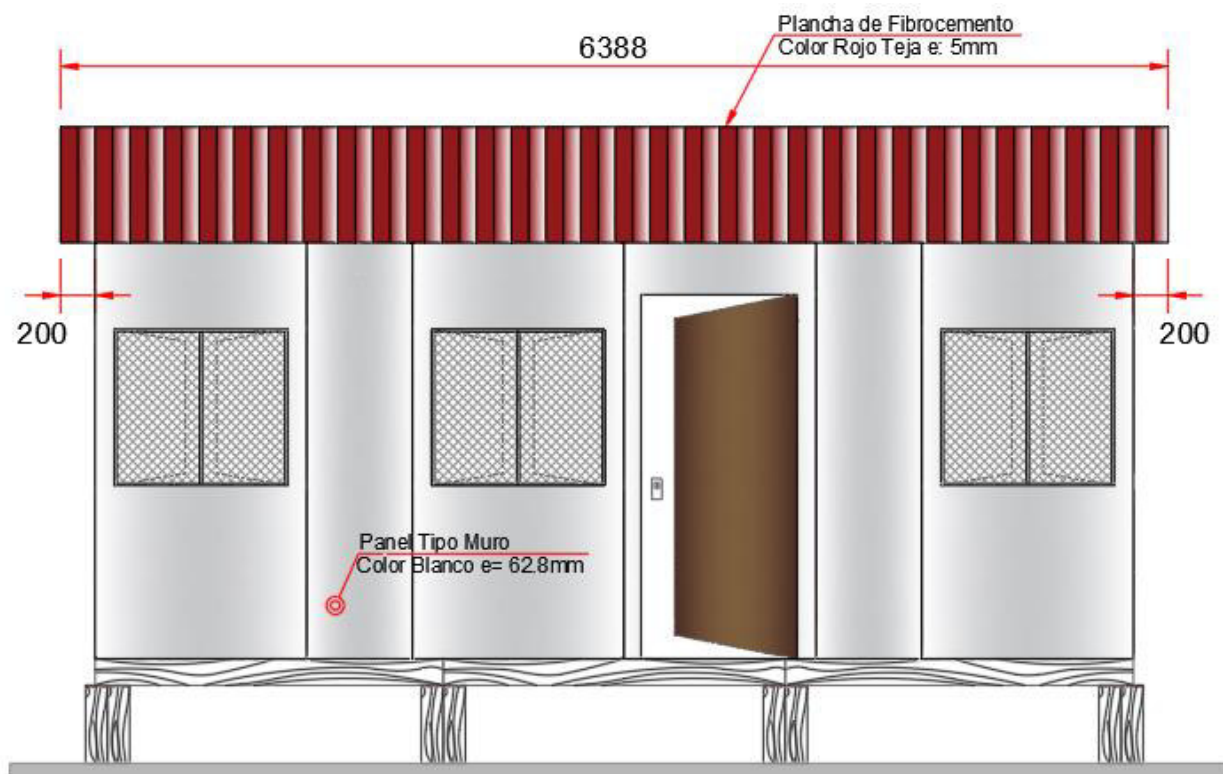


Figura 77. Elevación Frontal de MTV: Alternativa 02

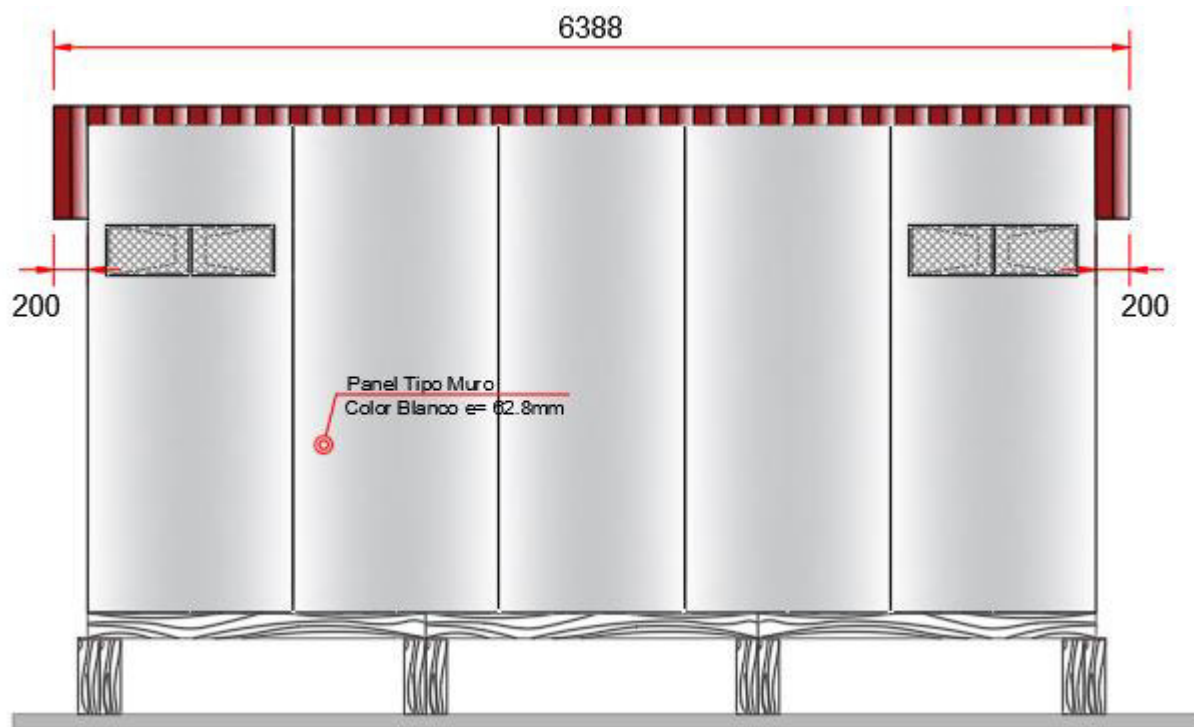


Figura 78. Elevación Posterior de MTV: Alternativa 02

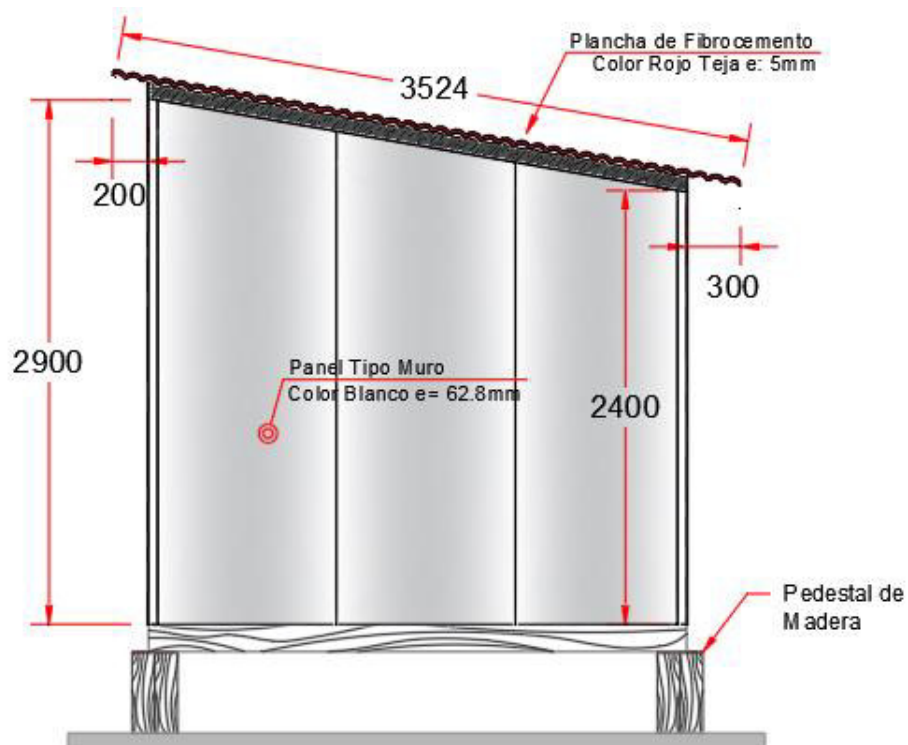


Figura 79. Elevación Lateral de MTV: Alternativa 02

3.2.5. Metrado de Cargas

Para la estimación de las cargas actuantes se consideran las siguientes dimensiones en planta de la estructura:

Luz del pórtico :	3.00m
Longitud total :	6.00m
Ancho de techo :	3.50m
Largo de techo :	6.40m

a. Carga Muerta

- *Carga Muerta de Piso*

Peso estructura de piso	:	4.00 kg/m ²
Peso triplay fenólico e=18mm	:	9.00 kg/m ²
Instalaciones	:	2.00 kg/m ²
<hr/>		
Total	:	15.00 kg/m²

- *Carga Muerta de Cobertura*

Peso Panel de Techo	:	20.00 kg/m ²
Instalaciones	:	5.00 kg/m ²
<hr/>		
Total	:	25.00 kg/m²

b. Carga Viva

<i>Carga Viva de Piso</i>	:	200.00 kg/m ²	(E.020 Cargas, 2006)
<i>Carga Viva de Cobertura</i>	:	30.00 kg/m ²	(E.020 Cargas, 2006)

c. Carga de Viento

Velocidad del viento (V)	:	80.00 Km/h
Altura sobre el terreno (h)	:	3.20 m
Velocidad de diseño en (h)	:	75.00 Km/h
Presión dinámica del suelo (Ph)	:	0.005CV ² = 28.13C kg/m ²

Los coeficientes que determinan las presiones de viento actuantes de acuerdo a la geometría del módulo temporal de vivienda y dirección del viento considerada se muestran en la Tabla 45.

Tabla 45

Presiones de Viento para Análisis y Diseño Estructural: Alternativa 02

Descripción	Factor de forma (C)	Ph (kg/m ²)	Tipología
Muro (Barlovento)	0.80	22.50	Superficies verticales
Muro (Sotavento)	-0.60	-16.88	Superficies verticales
Muro (Paralelo)	-0.70	-19.69	Superficies paralelas al viento
Cubierta (Paralela)	-0.70	-19.69	Superficies paralelas al viento
Cubierta (Barlovento)	0.30	8.44	Superficies inclinadas menores a 15°
Cubierta (Barlovento)	-0.70	-19.69	Superficies inclinadas menores a 15°

Nota. Tomado de “Norma E.020 Cargas”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2006, pág.204.

En el Anexo C.1 puede verse un detalle de la estimación de las presiones por superficie

3.2.6. Cortante Basal Estática

La norma técnica E.030 establece que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis dinámico, es necesario verificar que la magnitud de la fuerza cortante en la base de la edificación no resulte menor que el 80% del valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \times P ; \text{ donde } \frac{C}{R} \geq 0.125$$

Donde:

- V : Cortante Basal
- Z : Factor de Zona, definido en la Tabla 44.
- U : Factor de Uso o Importancia, definido en la Tabla 44.
- C : Coeficiente de Amplificación Sísmica, definido en la Tabla 44.
- S : Factor de Suelo, definido en la Tabla 44.
- R : Factor de Reducción, calculado para cada dirección, definido en la Tabla 44.
- P : Peso Sísmico, calculado de acuerdo al numeral 4.3. de la norma técnica E.030.

La expresión para determinar el peso sísmico (P) queda definida por:

$$P = P_{Plat.} + P_{Muros} + P_{Techo} + 25\%C_{VIVA}$$

Donde:

- $P_{Plat.}$: Peso propio de la plataforma, de acuerdo al detalle del Anexo C.2.
- P_{Muros} : Peso propio de los muros, de acuerdo al detalle del Anexo C.2.
- P_{Techo} : Peso propio del techo, de acuerdo al detalle del Anexo C.2.
- C_{VIVA} : Carga Viva de la Edificación, de acuerdo a la norma técnica E.020.

Por tanto, el peso sísmico del módulo temporal de vivienda en base al sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento es:

$$P = (454.22) + (908.32) + (562.01) + 0.25 (3.50 \times 6.40 \times 30.00 + 3.00 \times 6.00 \times 200.00)$$

$$P = 454.22 + 908.32 + 562.01 + 1\,068.00 = 2\,992.55 \text{ kg}$$

Reemplazando este valor en la fórmula de la cortante basal obtenemos:

$$V = \frac{0.45 \times 1.00 \times 2.50 \times 1.10}{7.00} \times 2\,992.55$$

$$V = 0.1768 \times 2\,992.55 = 529.04 \text{ kg}$$

El valor de la cortante basal estática resulta ser el mismo para ambas direcciones principales de análisis (X e Y), de acuerdo a los parámetros sísmicos establecidos en la Tabla 44.

3.2.7. Aceleración Espectral

El numeral 4.6.2. de la norma técnica E.030 considera un espectro inelástico de pseudoaceleraciones, definido por la siguiente expresión:

$$\frac{S_a}{g} = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R}$$

Donde:

- S_a : Aceleración espectral.
- g : Aceleración de la gravedad.
- Z, U, C, S y R son los parámetros sísmicos definidos en la Tabla 44.

Tabla 46*Espectro de Diseño de la norma técnica E.030: Alternativa 02*

T	C	C/R	S_a/g
0.00	2.50	0.3571	0.1768
0.02	2.50	0.3571	0.1768
0.04	2.50	0.3571	0.1768
0.06	2.50	0.3571	0.1768
0.08	2.50	0.3571	0.1768
0.10	2.50	0.3571	0.1768
0.12	2.50	0.3571	0.1768
0.14	2.50	0.3571	0.1768
0.16	2.50	0.3571	0.1768
0.18	2.50	0.3571	0.1768
0.20	2.50	0.3571	0.1768
0.25	2.50	0.3571	0.1768
0.30	2.50	0.3571	0.1768
0.35	2.50	0.3571	0.1768
0.40	2.50	0.3571	0.1768
0.45	2.50	0.3571	0.1768
0.50	2.50	0.3571	0.1768
0.55	2.50	0.3571	0.1768
0.60	2.50	0.3571	0.1768
0.65	2.50	0.3571	0.1768
0.70	2.50	0.3571	0.1768
0.75	2.50	0.3571	0.1768
0.80	2.50	0.3571	0.1768
0.85	2.50	0.3571	0.1768
0.90	2.50	0.3571	0.1768
0.95	2.50	0.3571	0.1768
1.00	2.50	0.3571	0.1768
1.60	1.56	0.2232	0.1105
2.00	1.00	0.1429	0.0707
2.50	0.64	0.0914	0.0453
3.00	0.44	0.0635	0.0314
4.00	0.25	0.0357	0.0177
5.00	0.16	0.0229	0.0113
6.00	0.11	0.0159	0.0079
7.00	0.08	0.0117	0.0058
8.00	0.06	0.0089	0.0044
9.00	0.05	0.0071	0.0035
10.00	0.04	0.0057	0.0028

Nota. Elaboración propia.

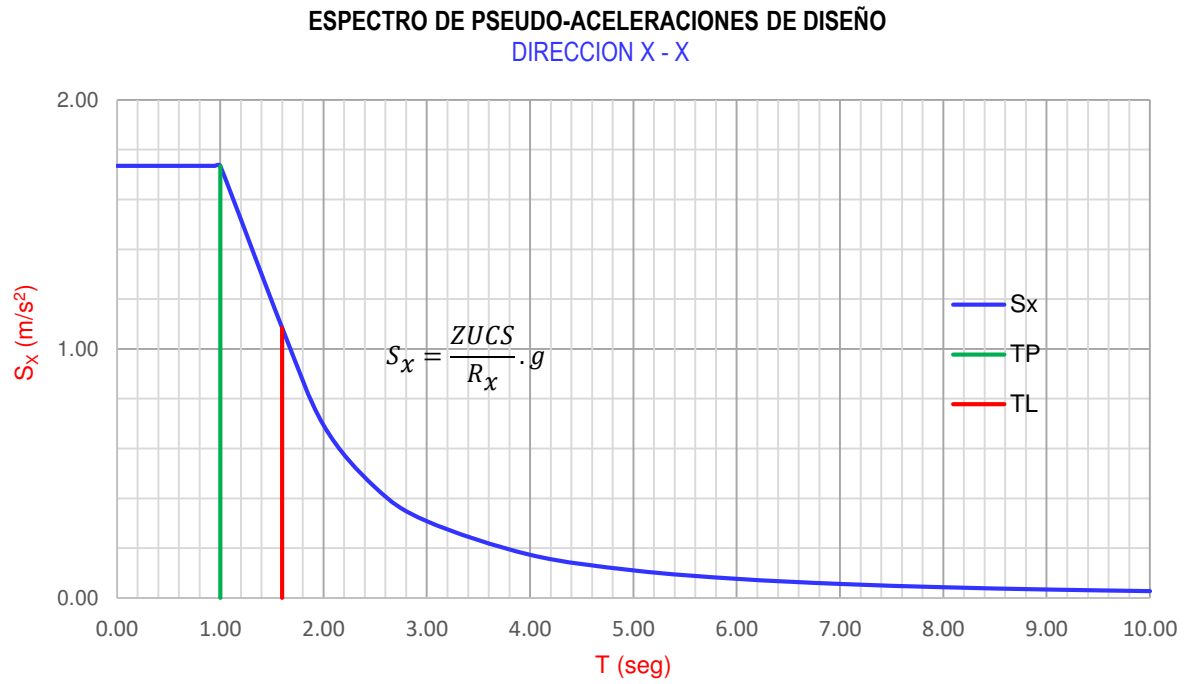


Figura 80. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones– Dirección X-X: Alternativa 02

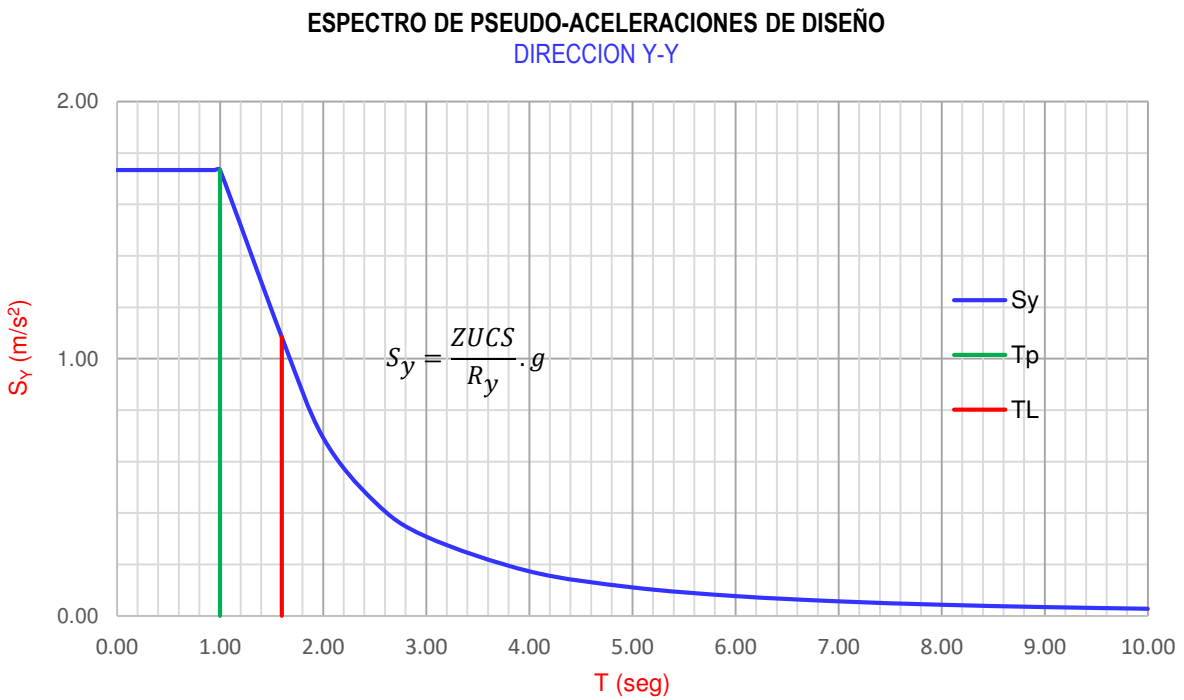


Figura 81. Espectro Inelástico de Pseudoaceleraciones - Dirección Y-Y: Alternativa 02

3.2.8. Modelamiento Estructural

A continuación, se detalla el procedimiento de generación del modelo de análisis.

3.2.8.1. Materiales

En base a lo establecido en el numeral 3.2.3, se definen las propiedades de los materiales en el programa SAP2000. Para el pino radiata se tiene:

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a material named 'Pino Radiata'. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: Pino Radiata (with a pink color swatch)
 - Material Type: Other (dropdown menu)
 - Material Grade: (empty text field)
 - Material Notes: (empty text area with a 'Modify/Show Notes...' button)
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 420. (text field)
 - Mass per Unit Volume: 42.8281 (text field)
- Units:**
 - Units: Kgf, m, C (dropdown menu)
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus Of Elasticity, E: 5.500E+08 (text field)
 - Poisson, U: 0.3 (text field)
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05 (text field)
 - Shear Modulus, G: 2.115E+08 (text field)
- Switch To Advanced Property Display:** (unchecked checkbox)
- Buttons:** OK and Cancel

Figura 82. Asignación de las propiedades mecánicas de la madera

Al especificar la densidad del material, el peso y la masa de los elementos con esta asignación (pies derechos, soleras, vigas, correas y planchas de triplay) quedan definidos.

La definición del valor del módulo de elasticidad permite el cálculo automático de la rigidez a flexión, compresión y tracción de las secciones, y determina la distribución de esfuerzos y magnitud de las deformaciones sobre los elementos. Los parámetros que no resultan relevantes para el tipo de análisis considerado, tales como el módulo de Poisson y el coeficiente de expansión térmica, se mantendrán los valores establecidos por defecto.

El procedimiento anterior es replicado para definir los parámetros del fibrocemento:

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name and Display Color:** A text field containing "Fibrocemento" with a small color swatch to its right.
 - Material Type:** A dropdown menu currently showing "Other".
 - Material Grade:** An empty text field.
 - Material Notes:** A button labeled "Modify/Show Notes..."
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume:** A text field containing "1250.".
 - Mass per Unit Volume:** A text field containing "127.4645".
- Units:** A dropdown menu showing "Kgf, m, C".
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus Of Elasticity, E:** A text field containing "6.933E+08".
 - Poisson, U:** A text field containing "0.3".
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A:** A text field containing "1.170E-05".
 - Shear Modulus, G:** A text field containing "2.667E+08".
- Switch To Advanced Property Display:** An unchecked checkbox.
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Figura 83. Asignación de las propiedades mecánicas del fibrocemento

Nótese que el valor de la densidad del fibrocemento es tres veces mayor que el valor de la densidad para el tipo de madera seleccionada.

3.2.8.2.Secciones

Se definieron secciones tipo frame para representar a los elementos de madera (líneas), y secciones tipo shell para representar a las placas de fibrocemento (áreas). Para cada sección es necesario ingresar sus dimensiones y asignarle un material, con ello las propiedades de la sección son calculadas automáticamente en base a los ejes locales del elemento.

A continuación, se muestra el proceso ilustrativo de definición de la sección de 2"x2" de pino radiata, presente en los elementos de los bastidores de los paneles muro:

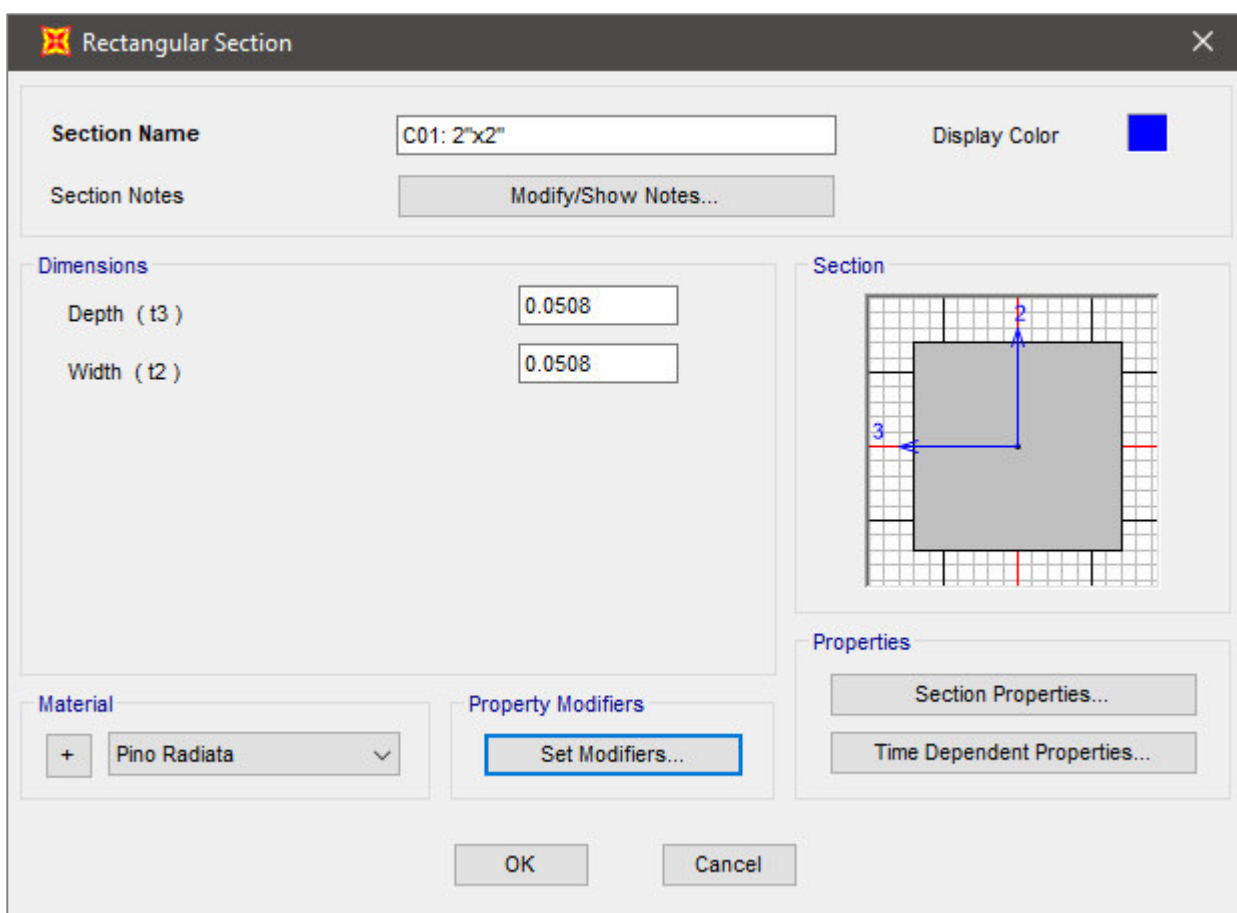


Figura 84. Definición de la sección de listones de madera de 2"x2"

Es posible alterar las propiedades de una sección sin modificar sus dimensiones, lo cual puede emplearse para restringir deformaciones o esfuerzos en una sección.

Del mismo modo, se han definido secciones de 2"x3", 2"x4", y 2"x6" + 2"x4" para representar a las vigas y correas de la cubierta y plataforma.

Para definir las propiedades de las secciones de las planchas de triplay fenólico y las placas de fibrocemento se emplean elementos de área como se muestra a continuación:

Figura 85. Definición de la sección de placa de fibrocemento

Dado que los paneles tienen placas de fibrocemento fijadas en la cara externa e interna, de $e=6$ mm y $e=4$ mm respectivamente, este elemento se representa con espesor de $e=10$ mm para la estimación su peso. Debido al espesor de la sección, la capacidad de tomar esfuerzos cortantes y de flexión resulta muy baja, modelándose este elemento con el fin de distribuir las presiones generadas por las cargas de viento y de gravedad sobre los entramados

De forma similar, se define la sección de los elementos área que representan a las placas de fibrocemento presentes en los paneles de la cobertura y la plancha de triplay fenólico que reviste la plataforma.

Figura 86. Definición de la sección de triplay fenólico

En el caso de estos elementos, debe tenerse presente que en el numeral 3.2.5 se incluyó el peso propio de los mismos en la determinación de las cargas muertas aplicables al modelo, por tanto, ya no resulta necesario considerarlo en la definición de la sección para lo cual se hará empleo de los modificadores de propiedad.

De no realizarse esta consideración, estaría duplicándose el peso propio de estos elementos, alterando el peso sísmico, y con ello las fuerzas cortantes en la base.

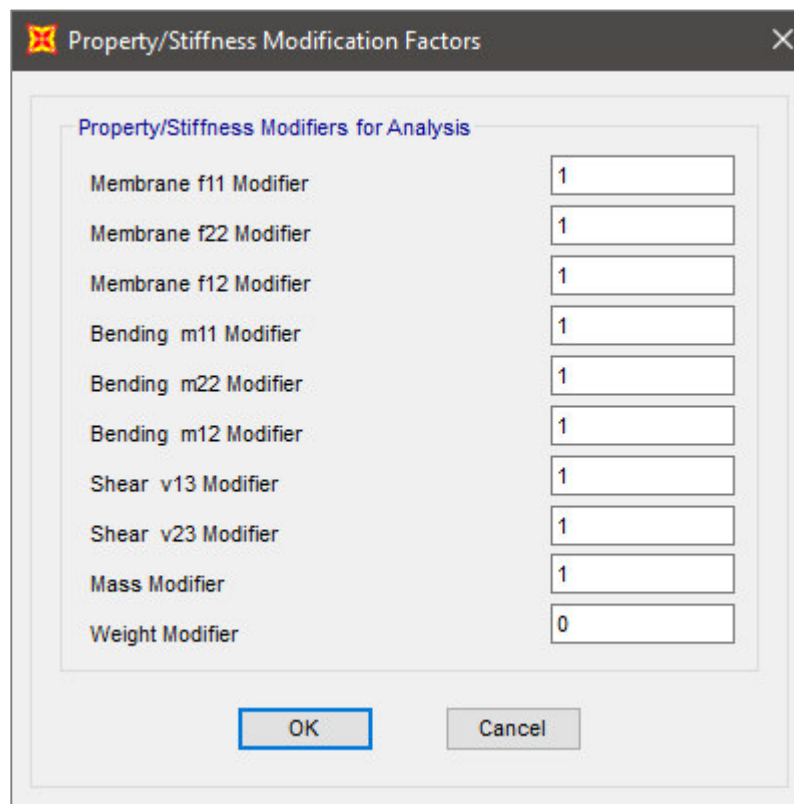


Figura 87. Modificación del peso propio de la sección de triplay fenólico

En la Figura 87 se observa que sólo se ha modificado el peso propio del elemento, puesto que la masa debe mantenerse para propósitos del análisis sísmico. En SAP2000 la masa de cada elemento modelado se concentra en los nodos del sistema, y su distribución determina las fuerzas de inercia para una aceleración dada.

Los factores de modificación permiten idealizar elementos con rigideces infinitas o mínimas en la dirección de un eje local especificado, de este modo es posible restringir o incrementar respectivamente, las deformaciones axiales, por cortante y por flexión según se requiera.

3.2.8.3. Casos de Carga para Análisis Estático

Se definieron los siguientes patrones de carga estática:

Tabla 47

Casos de Carga Estática Asignados al Modelo: Alternativa 02

Descripción	Símbolo	Observación
Peso Propio	DEAD	Calculado automáticamente
Carga Muerta o Permanente	CM	Ver numeral 3.2.5
Carga Viva de Plataforma	L	Ver numeral 3.2.5
Carga Viva de Techo	L _r	Ver numeral 3.2.5
Sismo Estático	S _x , S _y	Ver numeral 3.2.6
Carga de Viento	W _x , W _{y1} , W _{y2}	Ver numeral 3.2.5

Nota. Elaboración propia.

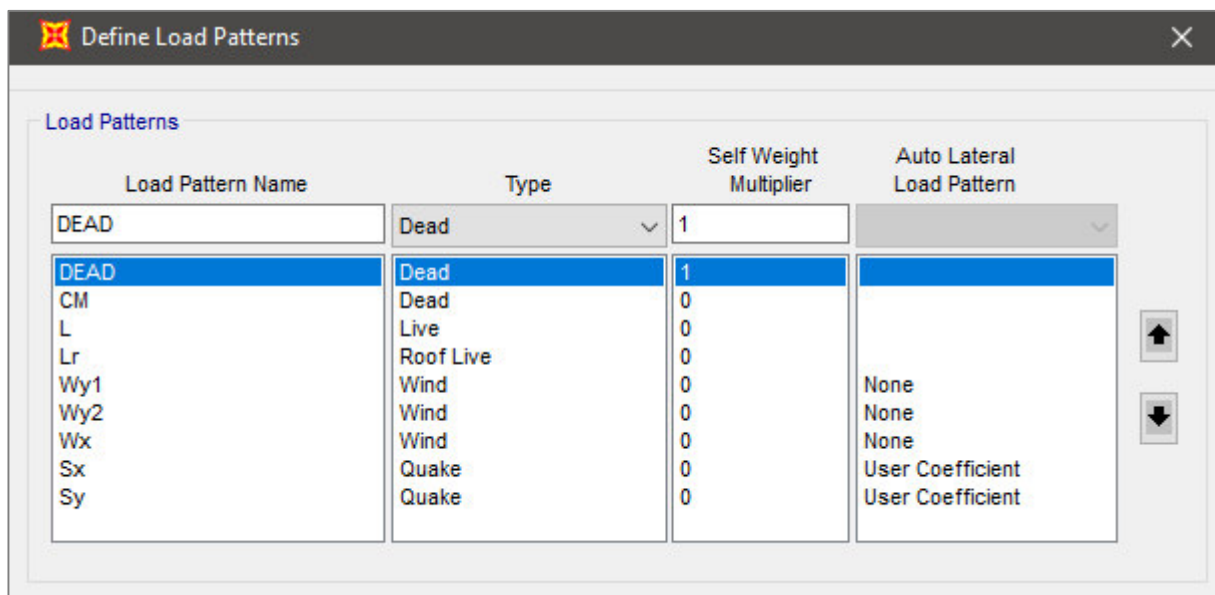


Figura 88. Patrones de Carga Estática: Alternativa 02

Como se aprecia en la Figura 88 el único patrón de carga que contiene el multiplicador de peso propio es aquel generado automáticamente por el programa, que registra el peso de todo elemento presente en el modelo para el cual ha sido definido un material con densidad conocida.

Con excepción de las cargas sísmicas, los patrones definidos en la Tabla 47 representan cargas uniformemente distribuidas sobre elementos área. En el caso de las cargas de gravedad, son aplicadas sobre la cobertura y la plataforma; y en el caso de las cargas de viento, sobre los muros exteriores del módulo temporal de vivienda de acuerdo a los coeficientes para superficies en barlovento y sotavento establecidos en el numeral 3.2.5.

Para definir las cargas sísmicas estáticas, es posible utilizar una configuración correspondiente a un código diseño preestablecido en el programa, o en su defecto ingresar un coeficiente de cortante basal para cada dirección de análisis, de acuerdo a la expresión indicada en el numeral 3.2.6. Dado que no existe diferencia entre el sistema estructural resistente a fuerzas laterales en las direcciones principales, se empleará el mismo coeficiente para cada caso de carga sísmica. La carga lateral se distribuye verticalmente en base al método de la Fuerza Horizontal Equivalente.

User Defined Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

- ☒ Global X Direction
- ☐ Global Y Direction
- Ecc. Ratio (All Diaph.)
- Override Diaph. Eccen.

Other Factors

- Base Shear Coefficient, C
- Building Height exp., K

Lateral Load Elevation Range

- ☒ Program Calculated
- ☐ User Specified
- Max Z
- Min Z

Figura 89. Patrones de carga del sismo estático en X-X: Alternativa 02

3.2.8.4. Asignación del Espectro Sísmico de Diseño

El espectro de la norma técnica E.030 puede representarse a través del ingreso de un conjunto de abscisas y ordenadas, para el periodo y aceleración de la estructura respectivamente, obtenidos de acuerdo al procedimiento mostrado en el numeral 3.2.7.

Este espectro de respuesta proporciona una representación gráfica de aceleraciones máximas estimadas estadísticamente en base a la sismicidad de una zona y el periodo de retorno de sus eventos sísmicos (pseudo-aceleraciones), que permiten determinar las fuerzas de inercia actuantes, así como los desplazamientos y esfuerzos máximos

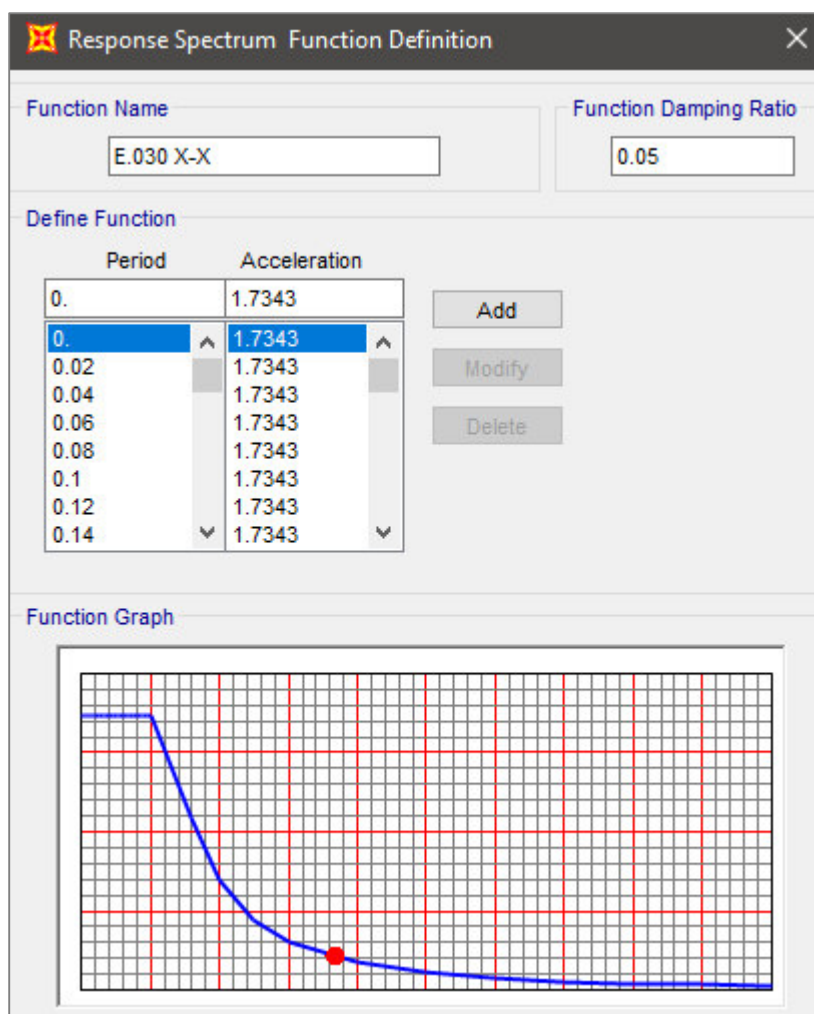


Figura 90. Espectro sísmico de diseño de acuerdo a la E.030: Alternativa 02

3.2.8.5. Definición de masas para el cálculo sísmico

En base a lo indicado en el numeral 3.2.6 se definen los factores para cada patrón de carga.

El peso sísmico influye directamente sobre los resultados del análisis modal, puesto que determina la masa concentrada en cada nodo del modelo, y con ello el porcentaje de participación de la masa de la estructura en cada uno de sus modos.

Mass Source Data

Mass Source Name:

Mass Source

☐ Element Self Mass and Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
CM	1.
L	0.25
Lr	0.25

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 91. Definición de Masa Sísmica: Alternativa 02

3.2.8.6. Casos de respuesta espectral para análisis sísmico dinámico

Las consideraciones para la combinación modal y la combinación direccional, son las mismas que las descritas en el numeral 3.1.8.

3.2.8.7. Generación del Modelo Matemático

Con los materiales y secciones definidas, se procede con el modelamiento de la estructura. Para representar el sistema de entramados de madera con revestimiento de fibrocemento se ha incluido un número considerable de puntos de apoyo a fin de conseguir una discretización óptima de los elementos de área, ya que, al estar enmarcados por bastidores, es necesario asegurar el comportamiento conjunto ante cargas, particularmente en los vanos. El modelamiento permite identificar desfases en la modulación de los paneles muro y techo, realizándose en esta etapa una revisión de las dimensiones de los mismos a fin de favorecer el mecanismo de transmisión de cargas.

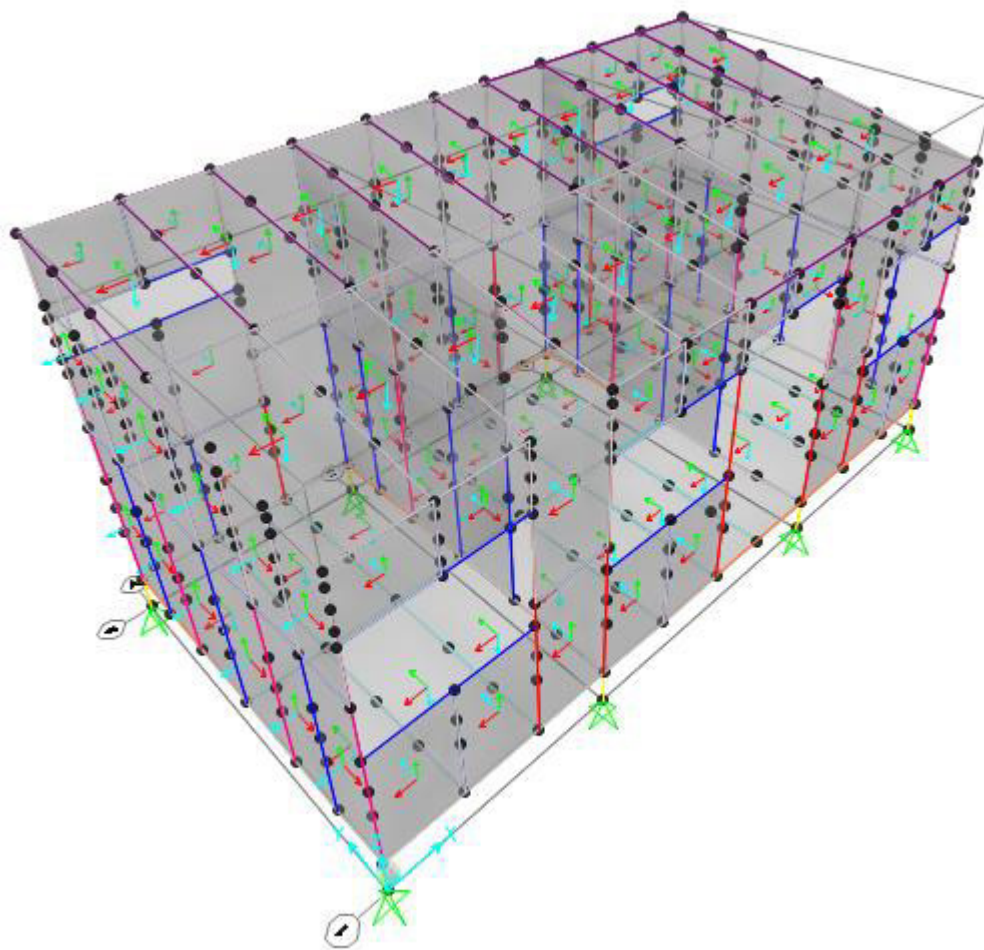


Figura 92. Vista en 3D del modelo matemático del MTV: Alternativa 02

Al tratarse de entramados cuyas uniones están constituidas principalmente por clavos, los nodos han sido representados a través de conexiones articuladas, no considerándose la transmisión de momentos entre los elementos que convergen en él. De esta forma, los esfuerzos de flexión debido a la acción de las cargas verticales se concentran en las vigas de cubierta y soleras, en tanto que los esfuerzos de compresión se concentran en los parantes. Nótese que la sección de los pies derechos es mayor en la unión entre paneles, a causa de la fijación clavada de dos listones continuos propia de este sistema constructivo.

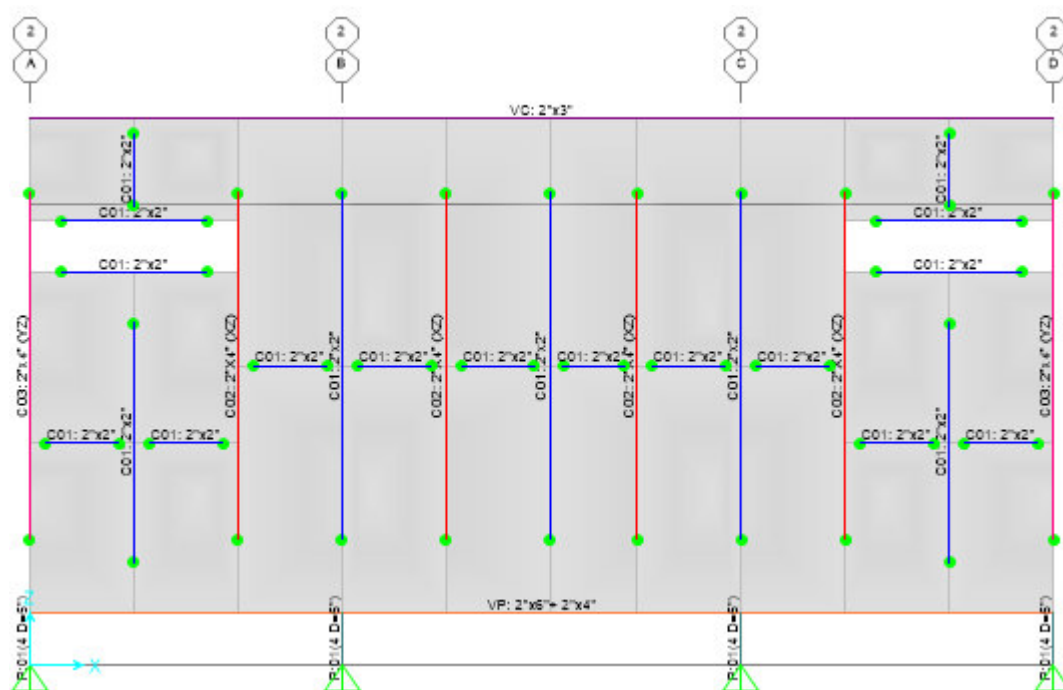


Figura 93. Representación de Uniones Articuladas en Entramados de Madera

3.2.8.8. Asignación de Cargas

De acuerdo a la estimación de cargas efectuada en el numeral 3.2.5, se realiza la asignación de cargas distribuidas sobre los elementos de área del modelo estructural. La magnitud de las cargas aplicadas en cada caso de carga definido en el numeral 3.2.8. se muestra a través de una escala de colores en las siguientes figuras:

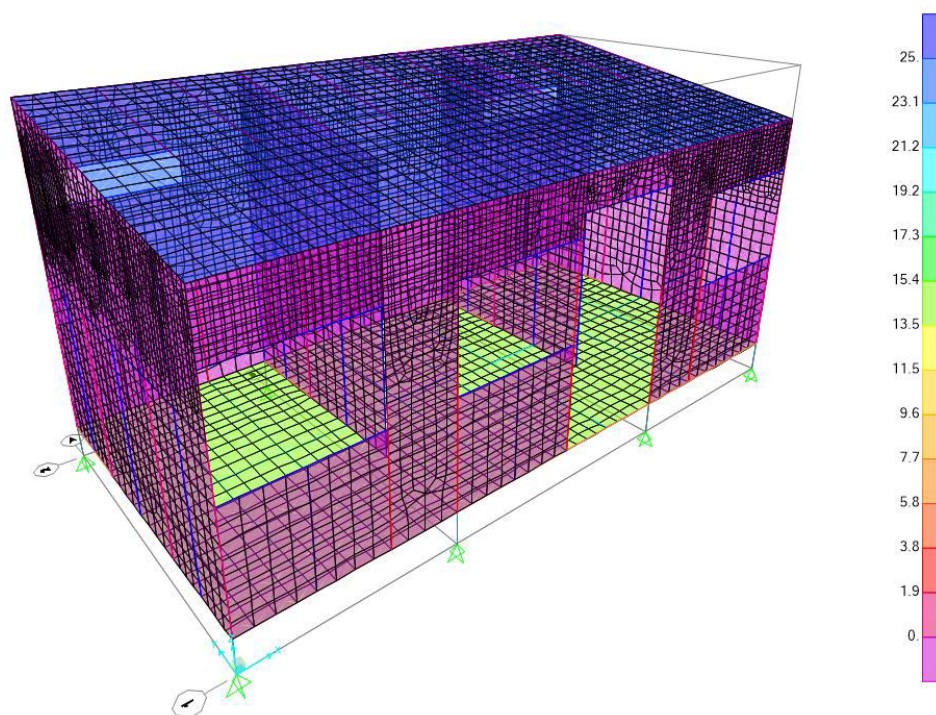


Figura 94. Carga Permanente (CM) en kg/m²: Alternativa 02

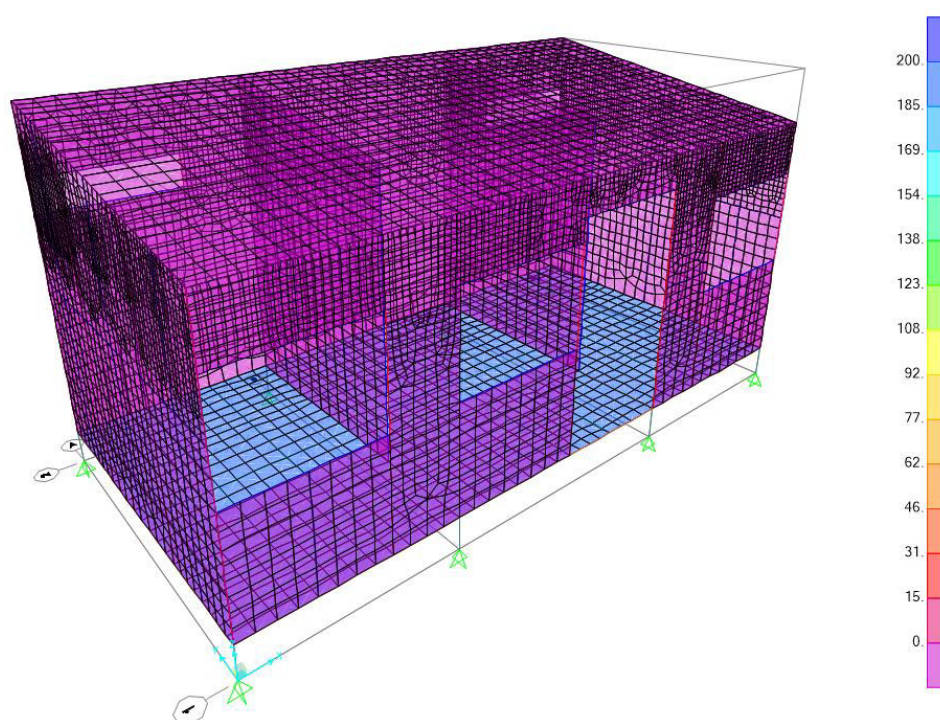


Figura 95. Carga Viva (L) sobre Plataforma en kg/m²: Alternativa 02

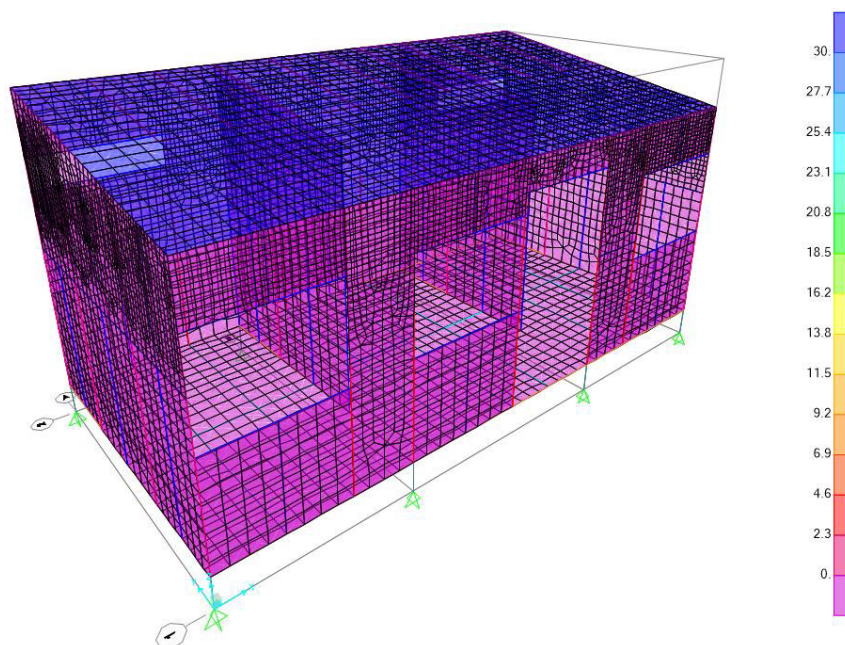


Figura 96. Carga Viva (L_r) sobre Cubierta en kg/m^2 : Alternativa 02

Los casos de carga de viento (W_x , W_{y1} y W_{y2}), se representan como cargas que actúan en sentido perpendicular al plano del elemento tipo área definido, en función de las coordenadas locales de cada elemento sobre el que se aplican.

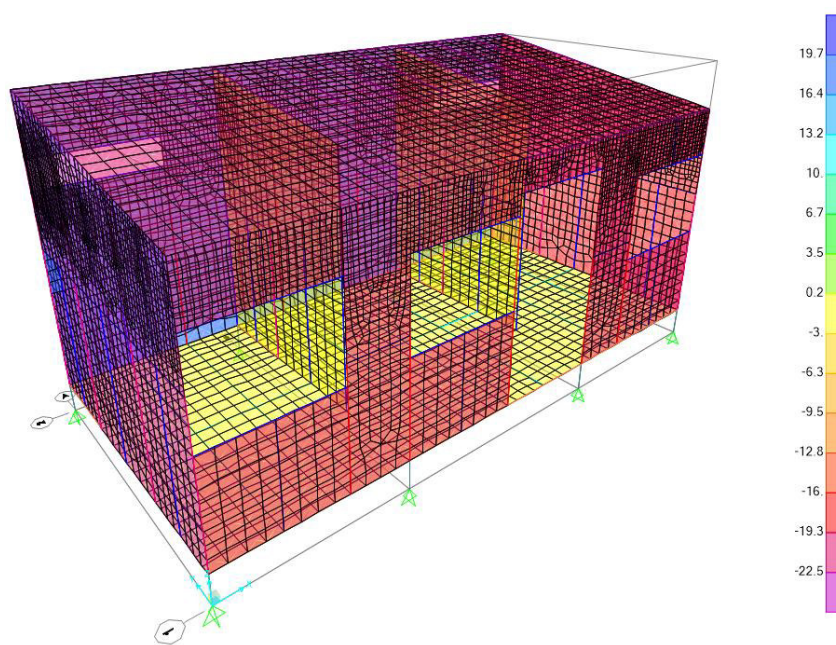


Figura 97. Carga de Viento en Dirección X-X (W_x) en kg/m^2 : Alternativa 02

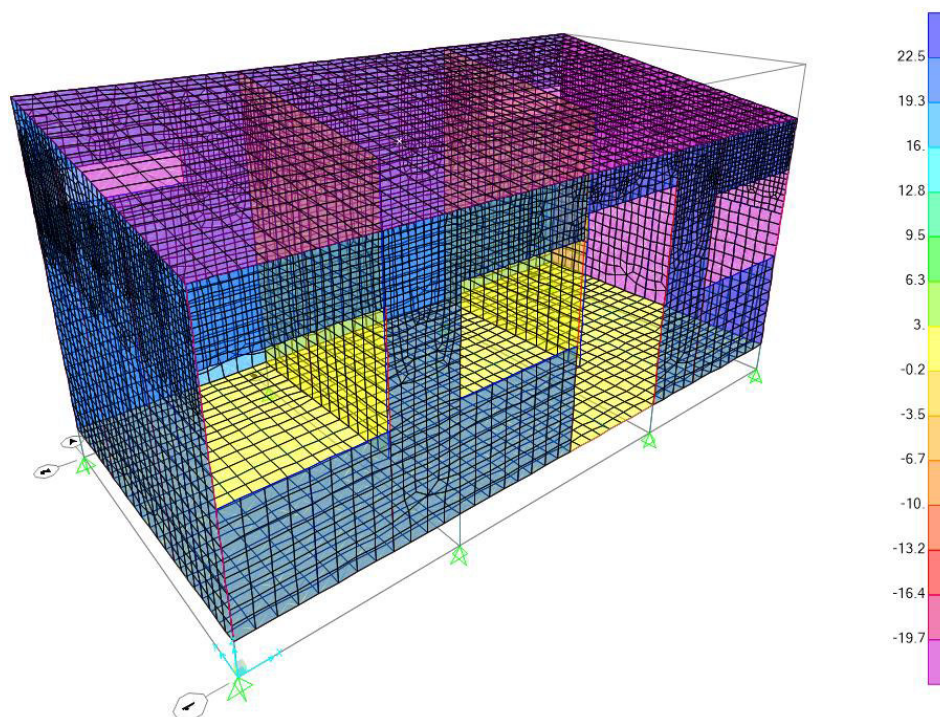


Figura 98. Carga de Viento en Dirección Y-Y (Wy1) en kg/m^2 : Alternativa 02

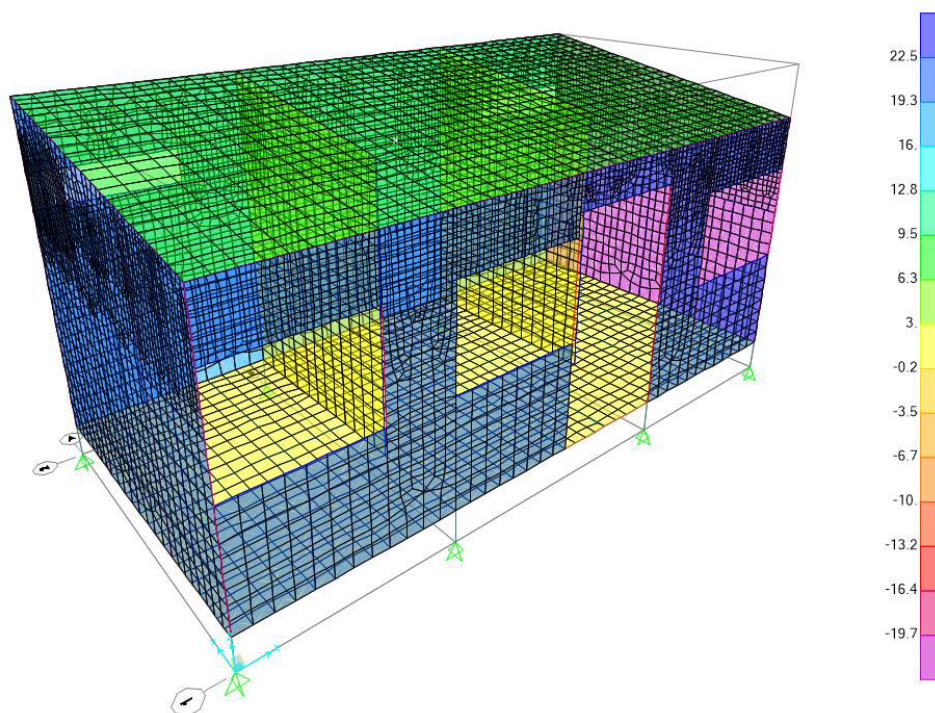


Figura 99. Carga de Viento en Dirección Y-Y (Wy2) en kg/m^2 : Alternativa 02

3.2.9. Análisis Estructural

Habiéndose asignado las cargas correspondientes a cada patrón de carga definido, y estableciéndose las combinaciones de carga para el diseño de los elementos, se procede con la ejecución del análisis del modelo tridimensional, el cual considera 06 grados de libertad por cada nodo definido. Una vez ejecutado, es necesario efectuar las siguientes verificaciones:

3.2.9.1. Verificación de las Derivas

De acuerdo a lo establecido en la norma técnica E.030, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso calculado, multiplicado por el coeficiente 0.75R (R es el factor de reducción definido en la Tabla 44), no debe exceder la fracción de la altura de entrepiso o distorsión especificada para el material predominante de la estructura.

Tabla 48

Límites para la Distorsión de Entrepiso: Alternativa 02

Material Predominante	$\left(\Delta/h_{et}\right)$
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con MDL	0,005

(*) Muros de Ductilidad Limitada

Nota. Tomado de “Norma E.030 Diseño Sismorresistente”, RNE, 2018, pág.27.

El material predominante en el sistema de entramados es la madera, por tanto, se verificó que la distorsión relativa de los nodos extremos de la cobertura no supere el valor permisible establecido en la Tabla 48.

Esta verificación se realiza en cada dirección principal, para la solicitación de carga horizontal más crítica entre las combinaciones de carga definidas en el numeral 3.2.2.

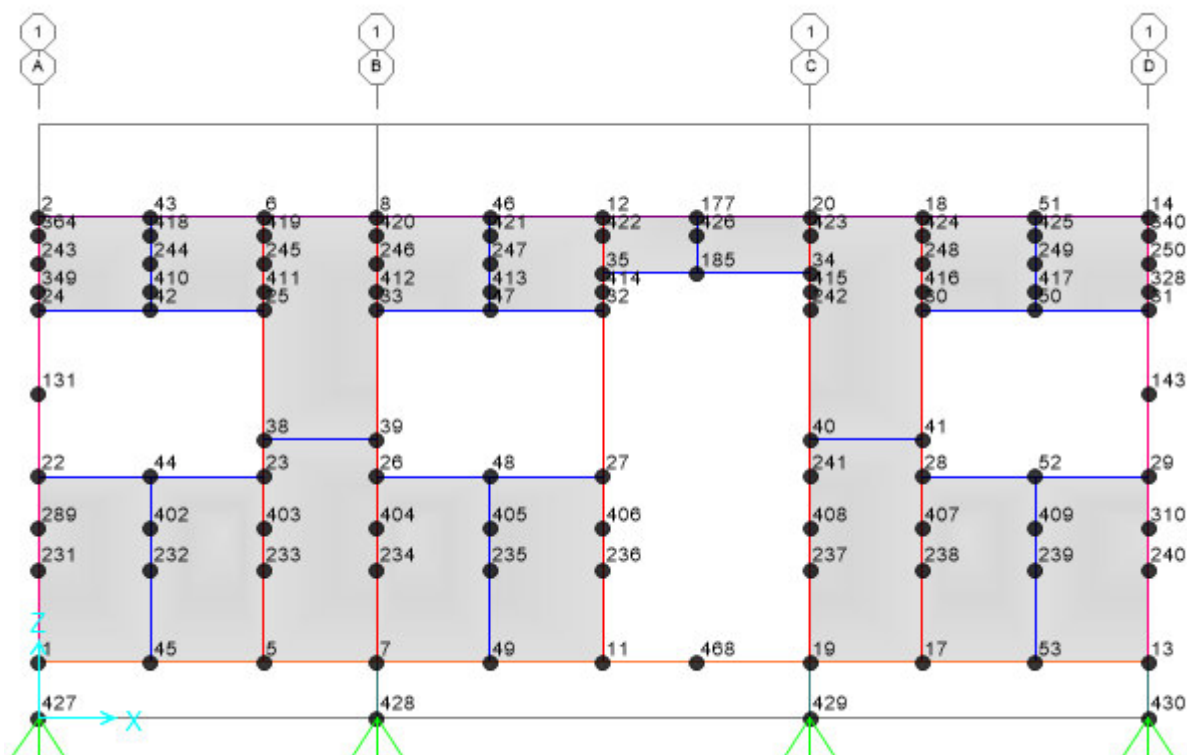


Figura 100. Etiquetas de Puntos - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02

Para los muros de entramados ubicados en los ejes 1 y 2, la sollicitación que genera los desplazamientos críticos es la correspondiente al sismo dinámico en la dirección X-X, por lo que para la verificación de las distorsiones se toma como referencia los nodos indicados en la Tabla 49.

Tabla 49

Distorsión de Entrepiso - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02

Nudo	Caso de Carga	ΔX (*) (m)	$\Delta X \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta X \times 0.75R}{H}$
2	SDx	0.0000247	0.0001296	2.40	0.000054
14	SDx	0.0000247	0.0001296	2.40	0.000054

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 101 se muestra la deformada de la elevación frontal del módulo para el caso de carga SDX, que representa un sismo dinámico en la dirección longitudinal.

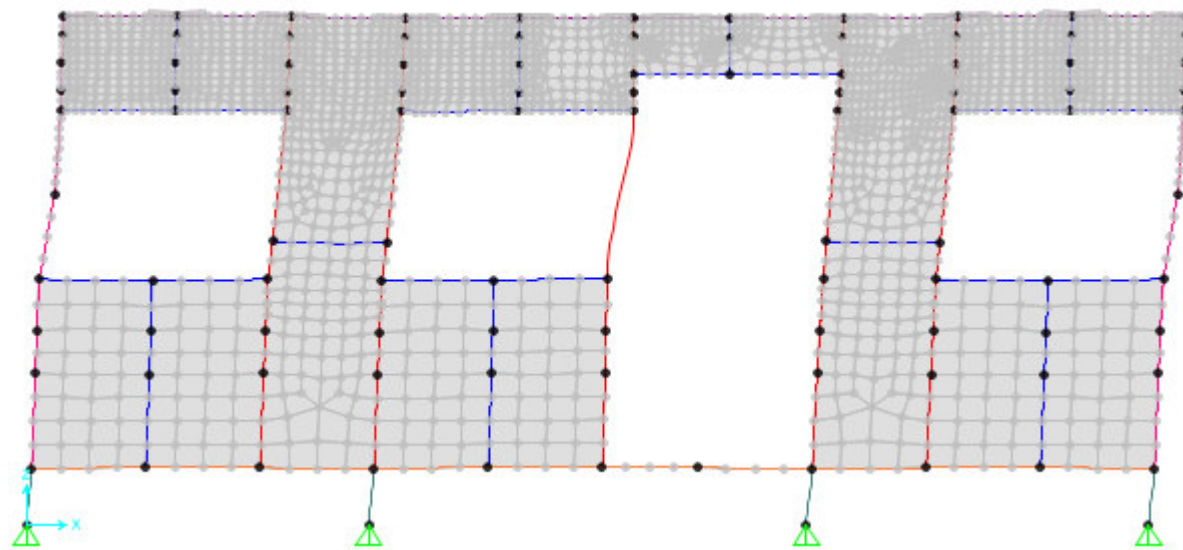


Figura 101. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 1 (Muro de Fachada): Alternativa 02

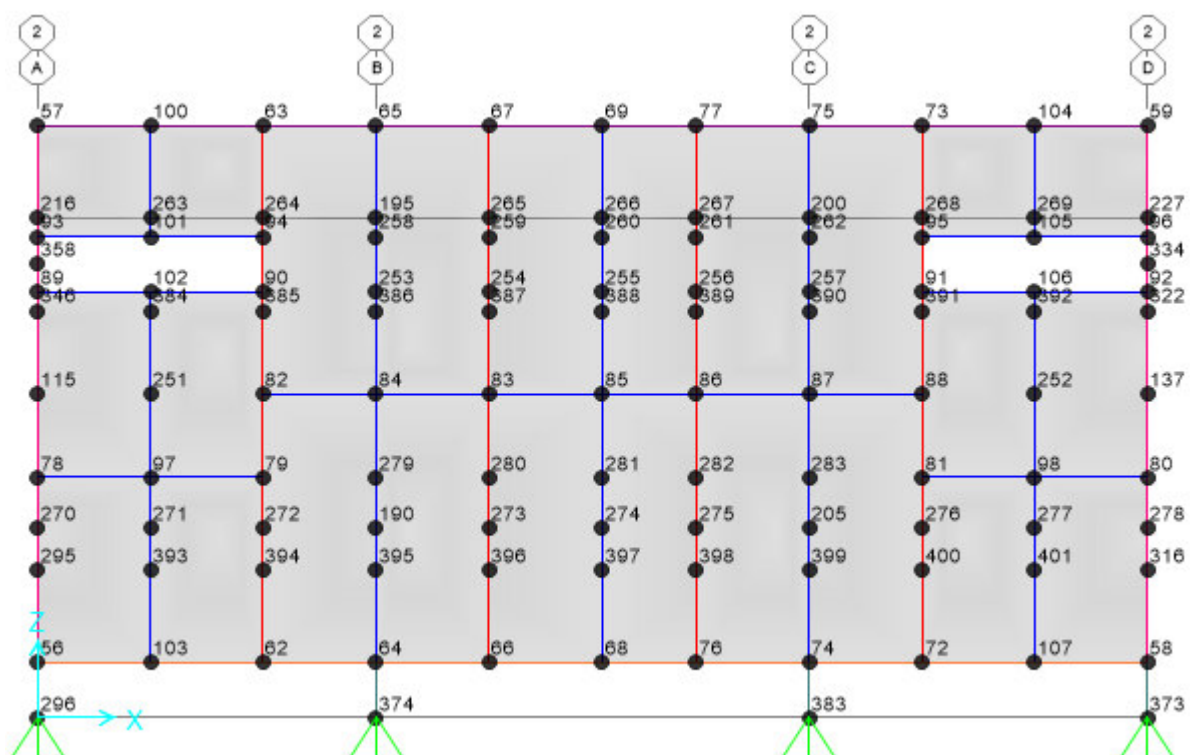


Figura 102. Etiquetas de Puntos - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 02

Dado que la distorsión es la fracción de la altura de un entrepiso que representa el desplazamiento relativo de entrepisos continuos, es necesario restar el desplazamiento de los nodos ubicados en la plataforma.

Los nodos considerados para la verificación de distorsiones en el muro posterior del módulo temporal de vivienda se muestran en la Tabla 50.

Tabla 50
Distorsión de Entrepiso - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 02

Nudo	Caso de Carga	$\Delta X (*)$ (m)	$\Delta X \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta X \times 0.75R}{H}$
57	SDx	0.0000237	0.0001243	2.40	0.000052
59	SDx	0.0000247	0.0001296	2.40	0.000054

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.
Nota. Elaboración propia.

En la Figura 103 se muestra la deformada de la elevación posterior del módulo para el caso de carga SDX, que representa un sismo dinámico en la dirección longitudinal.

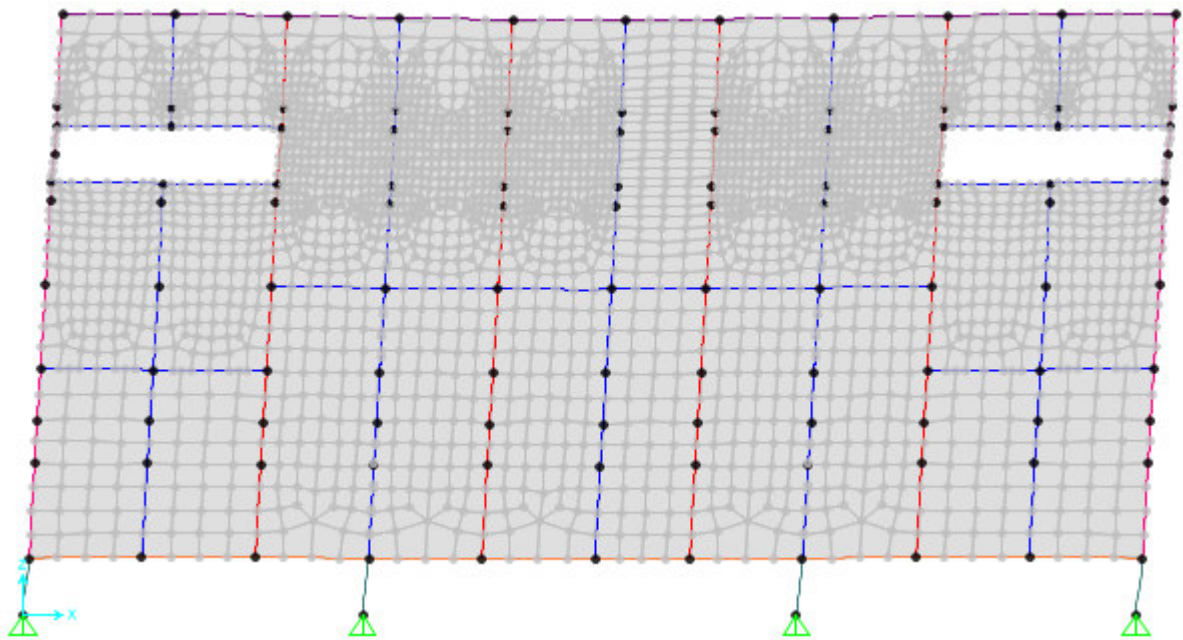


Figura 103. Deformada de Sismo Dinámico SDX - Eje 2 (Muro Posterior): Alternativa 02

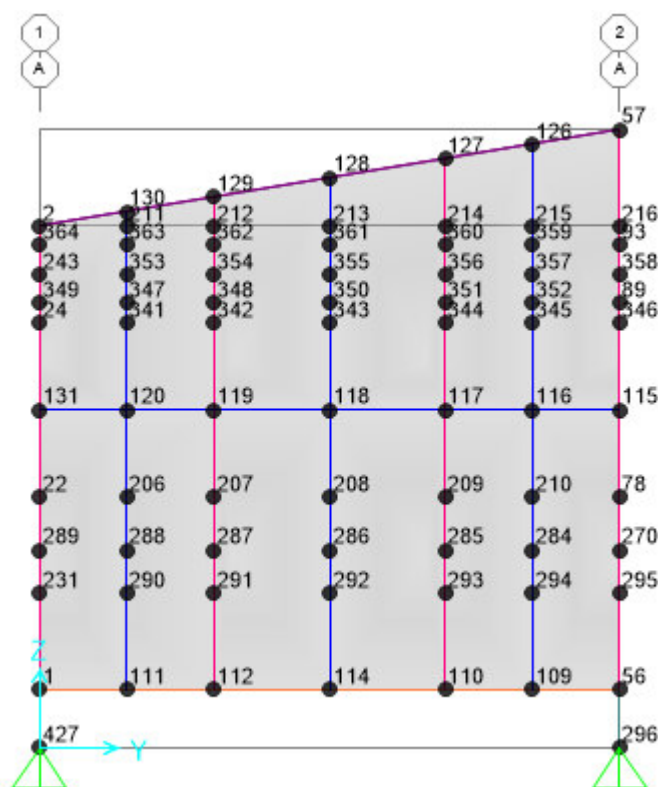


Figura 104. Etiquetas de Puntos - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 02

En la dirección transversal, los nodos extremos corresponden a paneles con alturas de entrepiso distintas, debido a la pendiente de la cobertura.

Los nodos considerados para la verificación de distorsiones en el muro lateral ubicado en el eje A del módulo temporal de vivienda se muestran en la Tabla 51.

Tabla 51

Distorsión de Entrepiso - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 02

Nudo	Caso de Carga	ΔY (*) (m)	$\Delta Y \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta Y \times 0.75R}{H}$
2	SDy	0.0000251	0.0001319	2.40	0.000055
57	SDy	0.0000221	0.0001161	2.90	0.000040

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.

Nota. Elaboración propia.

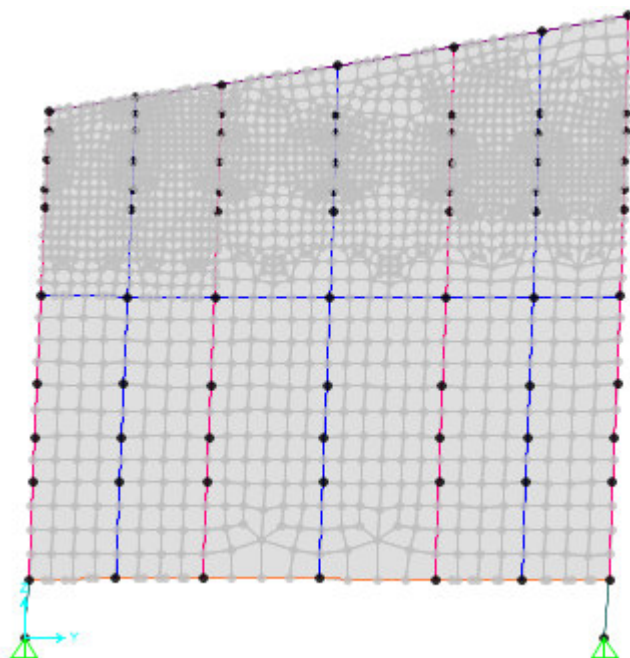


Figura 105. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje A (Muro Lateral): Alternativa 02

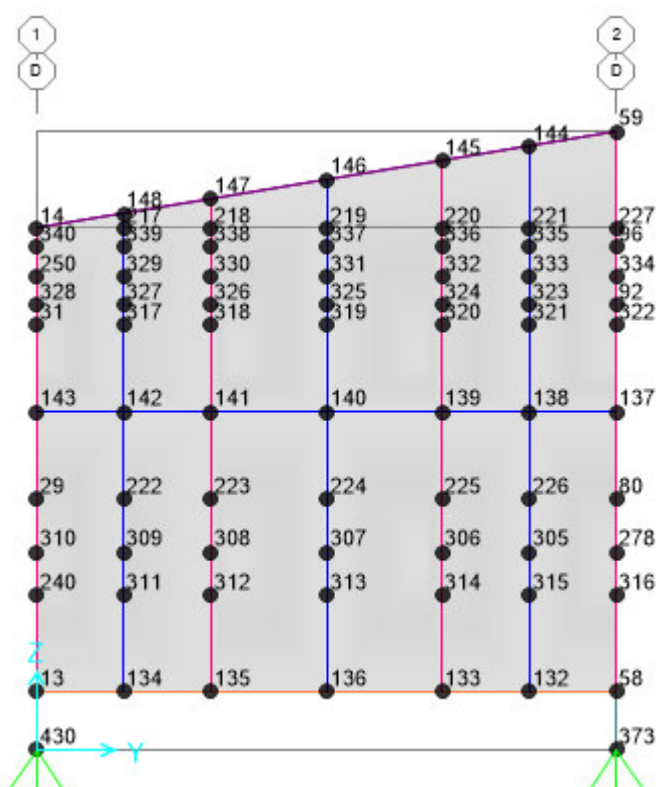


Figura 106. Etiquetas de Puntos - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 02

Los nodos considerados para la verificación de distorsiones en el muro lateral ubicado en el eje D del módulo temporal de vivienda se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52
Distorsión de Entrepiso - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 02

Nudo	Caso de Carga	ΔY (*) (m)	$\Delta Y \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta Y \times 0.75R}{H}$
14	SDy	0.0000251	0.0001319	2.40	0.000055
59	SDy	0.0000221	0.0001161	2.90	0.000040

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.
Nota. Elaboración propia.

En la Figura 107 se muestra la deformada de la elevación lateral del módulo para el caso de carga SDY, que representa un sismo dinámico en la dirección transversal.

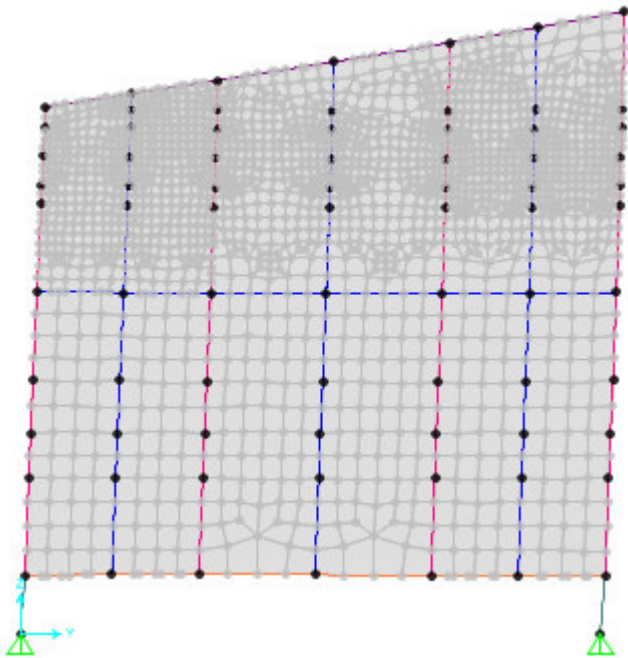


Figura 107. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje D (Muro Lateral): Alternativa 02

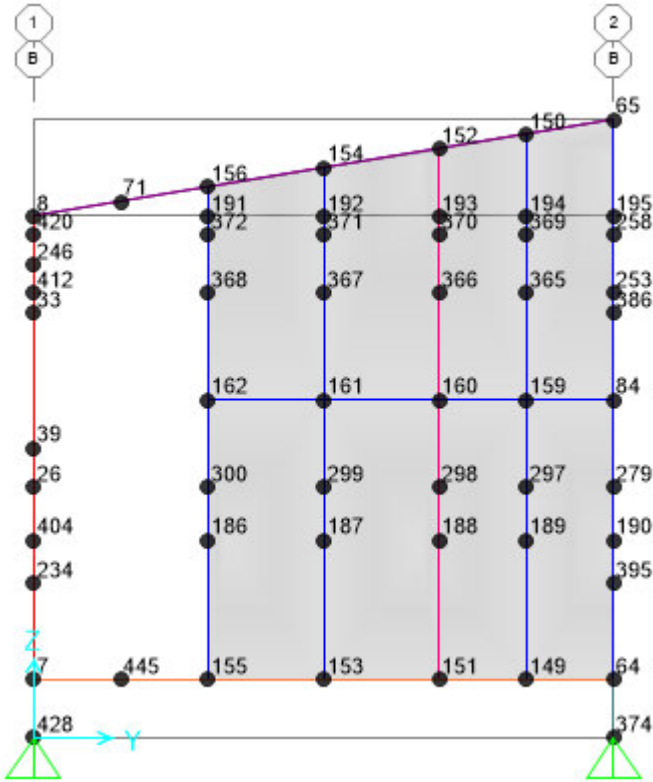


Figura 108. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje B (Muro Interior): Alternativa 02

Los nodos considerados para la verificación de distorsiones en el panel de modulación que corresponde al muro interno ubicado en el eje B del módulo temporal de vivienda se muestran en la Tabla 53.

Tabla 53
Distorsión de Entrepiso - Eje B (Muro Interior): Alternativa 02

Nudo	Caso de Carga	ΔY (*) (m)	$\Delta Y \times 0.75R$ (m)	H (m)	$\frac{\Delta Y \times 0.75R}{H}$
8	SDy	0.0000261	0.0001371	2.40	0.000057
65	SDy	0.0000261	0.0001371	2.90	0.000047

(*) El desplazamiento relativo se obtiene descontando el desplazamiento a nivel de la plataforma.
Nota. Elaboración propia.

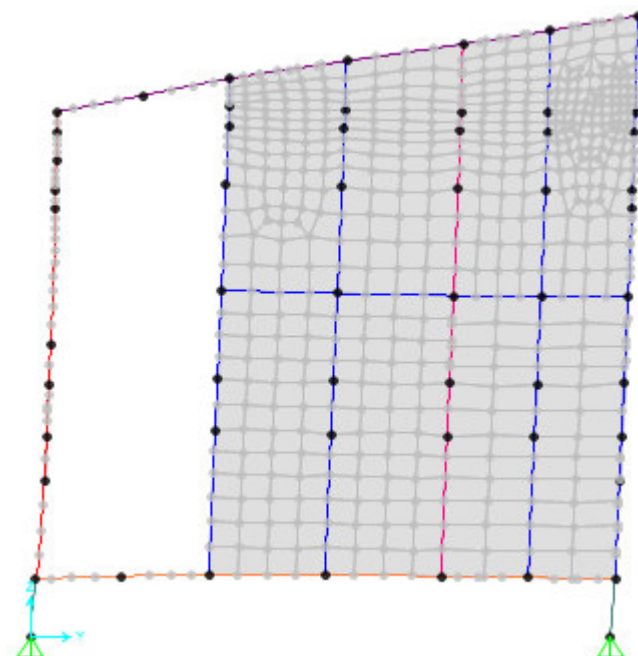


Figura 109. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje B (Muro Interior): Alternativa 02

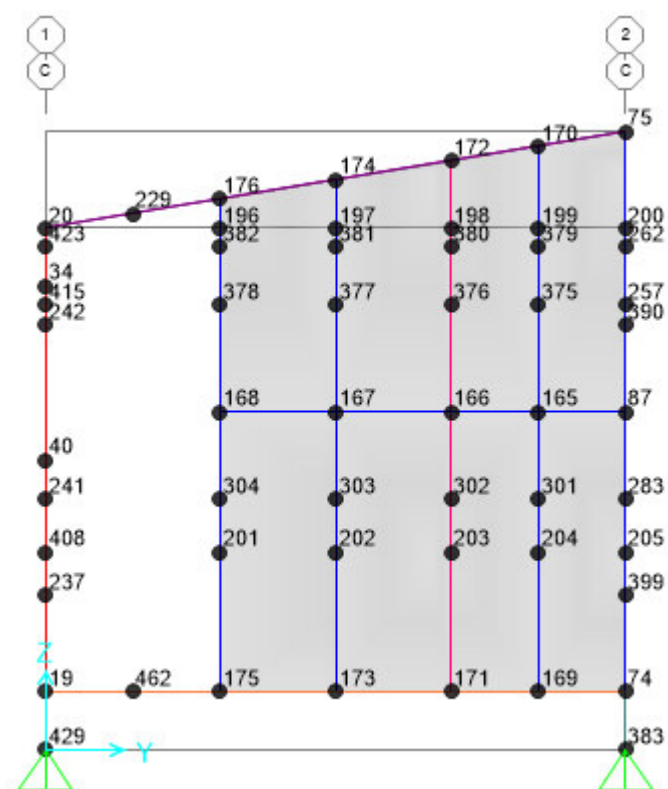


Figura 110. Deformada de Sismo Dinámico SDY - Eje C (Muro Interior): Alternativa 02

3.2.9.2. Periodos fundamentales y modos de vibración

La norma técnica E.030 señala que en cada dirección se deben considerar aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total; este requisito fue cumplido empleando 10 modos de vibración en el análisis estructural.

Tabla 55

Periodo fundamentales y masa participante: Alternativa 02

Modo	Periodo (s)	MUX	MUY	ΣUX	ΣUY
1	0.020542	0.553	0.0005944	0.553	0.0005944
2	0.020223	0.001436	0.355	0.555	0.356
3	0.019026	0.0001393	0.236	0.555	0.591
4	0.018904	0.038	0.003049	0.593	0.594
5	0.015616	2.281E-08	0.011	0.593	0.605
6	0.014369	0.002171	0.0001589	0.595	0.605
7	0.009223	0.0003374	0.093	0.595	0.698
8	0.008708	0.106	0.0007155	0.702	0.699
9	0.007171	0.292	0.00572	0.994	0.704
10	0.007106	0.004862	0.294	0.999	0.998

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 55, puede observarse que los mayores periodos corresponden a los modos fundamentales de la estructura, de tipo traslacional en la dirección X e Y, concentrando el 55% y 35% de la masa total en estos modos.

Se aprecia que, más allá del tercer modo, se producen vibraciones locales de los elementos de menor rigidez presentes en el sistema, alcanzándose el 90% de la participación en el modo 9 para la dirección principal X, y en el modo 10 para la dirección principal Y.

3.2.9.3. Cortante Basal del Análisis Estático y Dinámico

Como se indicó en el numeral 3.1.9 es necesario verificar la relación entre las magnitudes de la fuerza cortante basal obtenida del análisis estático y del análisis dinámico. Siendo que el módulo temporal de vivienda estructurado en base al sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento tiene una configuración regular, la magnitud del cortante dinámico no debe resultar menor al 80% al valor del cortante estático. En caso no se cumpla esta condición es necesario escalar los efectos del análisis modal espectral.

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf	GlobalMX Kgf-m
▶	Sx	LinStatic		-520.42	-1.075E-10	-8.189E-11	3.3
	Sy	LinStatic		3.582E-09	-520.42	1.216E-08	371.76
	SDX	LinRespSpec	Max	350.63	2.36	6.02	10.03
	SDY	LinRespSpec	Max	2.41	353.09	84.17	239.08

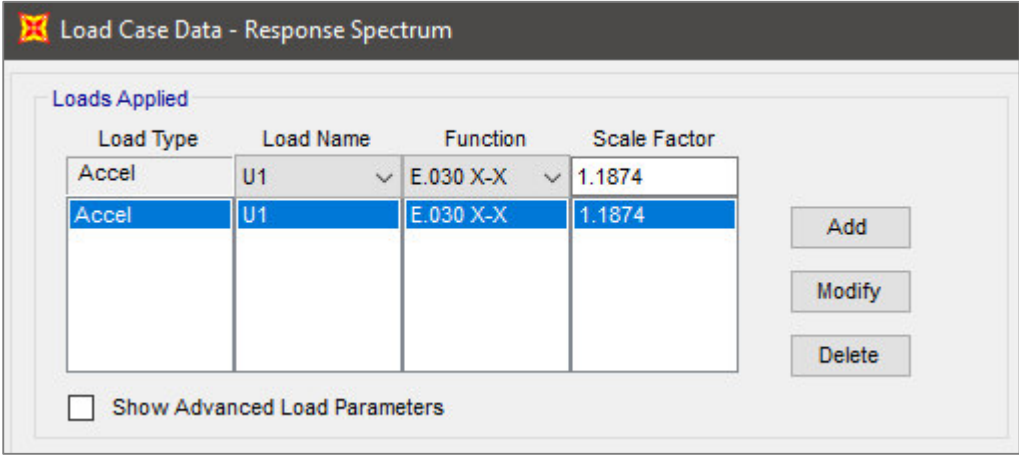
Figura 112. Cortante Basal Estática y Cortante Basal Dinámica: Alternativa 02

Tabla 56

Factor Escalar para el Cortante Dinámico: Alternativa 02

Descripción	Und	SDX	SDY
Cortante Basal Estático	kgf	520.42	520.42
80% Cortante Basal Estático	kgf	416.34	416.34
Cortante Basal Dinámico	kgf	350.63	353.09
Factor Escalar	-	1.1874	1.1791

Una vez determinados los factores de relación que permiten satisfacer la condición mínima establecida por la norma técnica E.030, se procede a escalar los resultados, sin ser necesario realizar una nueva verificación de las distorsiones, puesto que esta disposición es aplicable para efectos del diseño estructural de los elementos.

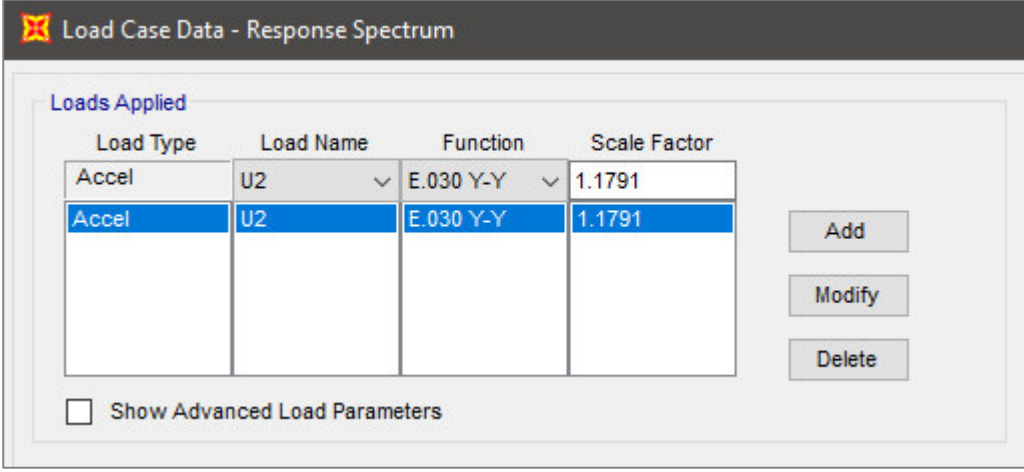


Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	E.030 X-X	1.1874
Accel	U1	E.030 X-X	1.1874

☐ Show Advanced Load Parameters

Add
Modify
Delete

Figura 113. Factor Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Longitudinal: Alternativa 02



Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	E.030 Y-Y	1.1791
Accel	U2	E.030 Y-Y	1.1791

☐ Show Advanced Load Parameters

Add
Modify
Delete

Figura 114. Escalar para Cortante Dinámico en Dirección Transversal: Alternativa 02

Habiéndose modificado el factor de escala, el cortante dinámico alcanza el 80% del valor del cortante estático, con lo cual se finaliza el análisis de la estructura y se procede con el diseño de los elementos.

3.2.10. Diseño Estructural

3.2.10.1. Pie Derecho Estándar

Los paneles de muro están compuestos por bastidores de madera pino radiata de 2"x2", siendo las propiedades geométricas de la sección que serán empleadas para la verificación del diseño de los elementos, las que se muestran a continuación:

Tabla 57

Propiedades de la Sección de Pie Derecho Estándar: Alternativa 02

Propiedad de la Sección	Símbolo (Und)	Sección 2"x2"	Sección 2"x4"
Área de la Sección	A (cm ²)	25.81	51.61
Área de Corte (2-2)	A _{G2} (cm ²)	21.51	43.01
Área de Corte (3-3)	A _{G3} (cm ²)	21.51	43.01
Momento de Inercia (3-3)	I ₃₋₃ (cm ⁴)	55.50	111.00
Momento de Inercia (2-2)	I ₂₋₂ (cm ⁴)	55.50	443.98
Radio de Giro (3-3)	r ₃ (cm ⁴)	1.47	1.47
Radio de Giro (2-2)	R ₂ (cm ⁴)	1.47	2.93
Módulo de Sección (3-3)	S ₃ (cm ³)	21.85	43.70
Módulo de Sección (2-2)	S ₂ (cm ³)	21.85	87.40

Nota. Elaboración propia.

- Esfuerzo a Compresión: La carga axial admisible, considerando los efectos de pandeo queda definida por la ecuación de Euler:

$$N_{adm} = \pi^2 \frac{EA}{2.50 \lambda^2}$$

Donde:

N_{adm} : Carga Axial Admisible
 E : Módulo de Elasticidad
 A : Área de la Sección Transversal
 λ : Relación de Esbeltez

Para determinar la estabilidad de un elemento, es necesario verificar la relación entre la rigidez de la sección transversal y su longitud total, denominada esbeltez. La relación de esbeltez permite clasificar a las columnas como cortas, intermedias o largas, mostrándose a continuación los valores límite entre columnas intermedias y largas para secciones rectangulares:

Tabla 58

Relación de Esbeltez Límite C_k entre Columnas Intermedias y Largas

Grupo Estructural	Columnas	Entramados
A	17.98	20.06
B	18.34	20.20
C	18.42	22.47

Nota. Tomado de “Norma E.010 Madera”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2018, pág.20.

La relación de esbeltez, es calculada a través de la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{d}$$

Donde:

- λ : Relación de esbeltez
- l_{ef} : Longitud efectiva del elemento
- d : menor dirección de la sección transversal

La longitud efectiva de un elemento sometido a compresión se determina en función del tipo de apoyo de sus extremos, mediante la expresión:

$$l_{ef} = k \times l$$

Donde:

- l_{ef} : longitud efectiva del elemento
- k : factor de longitud efectiva
- l : longitud no arriostrada de un elemento

En cada panel se tienen de arriostre horizontal ubicado a media altura. Además, dado que en los entramos de madera las uniones son articuladas, la longitud efectiva resulta equivalente a la longitud no arriostrada ($k=1.00$) por lo que la relación de esbeltez resulta:

$$\lambda = \frac{145 \text{ cm}}{5.08 \text{ cm}} = 28.54$$

De acuerdo a la Tabla 58, los parantes del sistema de entramados de madera evaluado, se clasifican como columnas largas, por lo que simplificando la ecuación de Euler para secciones rectangulares resulta:

$$N_{adm} = 0.329 \frac{EA}{\lambda^2}$$

$$N_{adm} = 0.329 \times \frac{90\,000 \times 25.81}{28.54^2} = 938.25 \text{ kg}$$

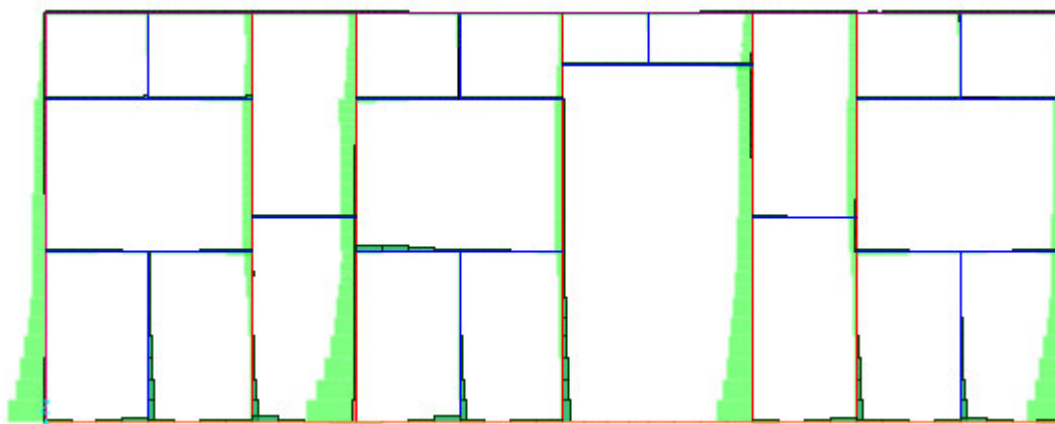


Figura 115. Envolvente de Fuerzas Axiales: Alternativa 02

La carga máxima actuante se obtiene del análisis estructural, siendo que:

$$N_{act} = 145.68 \text{ kg}$$

$$N_{act} < N_{adm}$$

Por tanto, la sección propuesta satisface la verificación por esfuerzo axial.

- Esfuerzo a Flexión: para la verificación a flexión es necesario determinar el momento flector admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$M_{adm} = f_m \times S$$

Donde:

- M_{adm} : Momento flector admisible de la sección.
- f_m : Esfuerzo admisible a flexión, de acuerdo al numeral 3.2.3.
- S : Módulo de sección, de acuerdo a la Tabla 57.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$M_{adm} = 100.00 \times 21.85 = 2\,185.00 \text{ kg.cm}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor máximo del momento flector actuante:

$$M_{act} = 994.67 \text{ kg}$$

$$M_{act} < M_{adm}$$

Por tanto, la sección propuesta satisface la verificación por esfuerzo a flexión.

- Esfuerzo a Flexo-compresión: para que un elemento sometido a flexión y compresión pueda satisfacer esta condición es necesario verificar que:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m |M|}{S f_m} < 1$$

Donde:

- N : Carga axial aplicada
- N_{adm} : Carga axial admisible
- K_m : Factor de magnificación de momentos
- $|M|$: Valor absoluto del momento flector máximo
- S : Módulo de la Sección en el eje alrededor del cual se produce la flexión
- f_m : Esfuerzo admisible en flexión

El factor de magnificación de momentos viene dado por la siguiente expresión:

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.50 \frac{N}{N_{cr}}}$$

Donde:

K_m : Factor de magnificación de momentos
 N : Carga axial aplicada
 N_{cr} : Carga crítica de Euler

El factor de magnificación de momentos se obtiene como sigue:

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.50 \times \frac{145.68}{1432.85}} = 1.18$$

Reemplazando el valor obtenido:

$$\frac{145.6}{573.30} + \frac{1.18 \times |994.67|}{21.85 \times 100.00} = 0.79 < 1$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 2" satisface el diseño por esfuerzos permisibles para flexo-compresión.

- Esfuerzo a Cortante: para la verificación a cortante es necesario determinar la fuerza cortante admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$V_{adm} = f_v \times A_G$$

Donde:

V_{adm} : fuerza cortante admisible de la sección
 f_v : Esfuerzo admisible a cortante, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 A_G : Área de corte de la sección, de acuerdo a la Tabla 57.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión:

$$V_{adm} = 8.00 \times 21.51 = 172.08 \text{ kg}$$

El cortante máximo actuante se obtiene del análisis estructural, siendo que:

$$V_{act} = 26.14 \text{ kg}$$

$$V_{act} < V_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 2" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a cortante.

- Deflexión Admisible: Se verificará para la acción del viento, empleando la expresión para la deflexión máxima en elementos simplemente apoyados:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

Donde:

δ_{max}	: Deflexión máxima en el centro de luz de un tramo simplemente apoyado
q	: Carga uniformemente distribuida aplicada
L	: Longitud del elemento
E	: Módulo de elasticidad
I	: Momento de inercia de la sección

Reemplazando con los valores conocidos se tiene:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{0.14 \times 145^4}{90\,000 \times 55.50} = 0.16 \text{ cm}$$

$$\delta_{adm} = \frac{L}{450} = \frac{145}{450} = 0.32 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} < \delta_{adm}$$

Por tanto, se verifica que las deflexiones máximas que se producen sobre la sección de 2"x 2" satisfacen lo establecido en la norma técnica E.010.

3.2.10.2. Soleras

Las soleras de los paneles muro tienen la misma sección que los parantes, resumiéndose sus propiedades en la Tabla 59.

Tabla 59

Propiedades de la Sección de Solera Estándar: Alternativa 02.

Propiedad de la Sección	Símbolo (Und)	Sección 2"x2"
Área de la Sección	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	25.81
Área de Corte (2-2)	$A_{G2} \text{ (cm}^2\text{)}$	21.51
Área de Corte (3-3)	$A_{G3} \text{ (cm}^2\text{)}$	21.51
Momento de Inercia (3-3)	$I_{3-3} \text{ (cm}^4\text{)}$	55.50
Momento de Inercia (2-2)	$I_{2-2} \text{ (cm}^4\text{)}$	55.50
Radio de Giro (3-3)	$r_3 \text{ (cm}^4\text{)}$	1.47
Radio de Giro (2-2)	$R_2 \text{ (cm}^4\text{)}$	1.47
Módulo de Sección (3-3)	$S_3 \text{ (cm}^3\text{)}$	21.85
Módulo de Sección (2-2)	$S_2 \text{ (cm}^3\text{)}$	21.85

Nota. Elaboración propia.

Las propiedades de la sección se calculan en función a sus ejes locales, cuya orientación respecto a la sección transversal se muestra en la Figura 116.

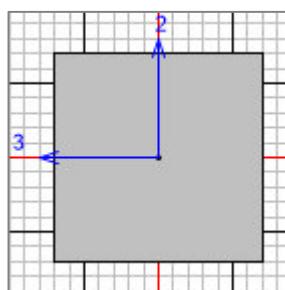


Figura 116. Sección Transversal 2"x2": Alternativa 02

Puesto que se trata de un elemento de sección cuadrada, las propiedades son idénticas en ambas direcciones perpendiculares.

- Esfuerzo a Flexión: para la verificación a flexión es necesario determinar el momento flector admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$M_{adm} = f_m \times S$$

Donde:

- M_{adm} : Momento flector admisible de la sección
- f_m : Esfuerzo admisible a flexión, de acuerdo al numeral 3.2.3.
- S : Módulo de sección, de acuerdo a la Tabla 59.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$M_{adm} = 100.00 \times 21.85 = 2\,185.00 \text{ kg.cm}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor máximo del momento flector actuante:

$$M_{act} = 1\,227.80 \text{ kg}$$

$$M_{act} < M_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 2" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a flexión.

- Esfuerzo a Cortante: para la verificación a cortante es necesario determinar la fuerza cortante admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$V_{adm} = f_v \times A_G$$

Donde:

- V_{adm} : fuerza cortante admisible de la sección
- f_v : Esfuerzo admisible a cortante, de acuerdo al numeral 3.2.3.
- A_G : Área de corte de la sección, de acuerdo a la Tabla 59.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$V_{adm} = 8.00 \times 21.51 = 172.08 \text{ kg}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor del cortante máximo actuante:

$$V_{act} = 48.64 \text{ kg}$$

$$V_{act} < V_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 2" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a cortante.

- Deflexión Admisible: Se verificará para la combinación de carga más desfavorable en dirección de la gravedad:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

Donde:

δ_{max}	: Deflexión máxima en el centro de luz de un tramo simplemente apoyado
q	: Carga uniformemente distribuida aplicada (D+L+Lr)
L	: Longitud del elemento
E	: Módulo de elasticidad
I	: Momento de inercia de la sección

Reemplazando con los valores conocidos se tiene:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{0.41 \times 60^4}{90\,000 \times 55.50} = 0.01 \text{ cm}$$

$$\delta_{adm} = \frac{L}{450} = \frac{60}{450} = 0.13 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} < \delta_{adm}$$

Por tanto, se verifica que las deflexiones máximas que se producen sobre la sección de 2"x 2" satisfacen lo establecido en la norma técnica E.010.

3.2.10.3. Vigas de Plataforma

La superficie de triplay fenólico se apoya sobre vigas de 2"x4", cuyas propiedades se resumen en la Tabla 60.

Tabla 60

Propiedades de la Sección de Viga de Plataforma: Alternativa 02

Propiedad de la Sección	Símbolo (Und)	Sección 2"x4"
Área de la Sección	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	51.61
Área de Corte (2-2)	$A_{G2} \text{ (cm}^2\text{)}$	43.01
Área de Corte (3-3)	$A_{G3} \text{ (cm}^2\text{)}$	43.01
Momento de Inercia (3-3)	$I_{3-3} \text{ (cm}^4\text{)}$	443.98
Momento de Inercia (2-2)	$I_{2-2} \text{ (cm}^4\text{)}$	111.00
Radio de Giro (3-3)	$r_3 \text{ (cm}^4\text{)}$	2.93
Radio de Giro (2-2)	$R_2 \text{ (cm}^4\text{)}$	1.47
Módulo de Sección (3-3)	$S_3 \text{ (cm}^3\text{)}$	87.40
Módulo de Sección (2-2)	$S_2 \text{ (cm}^3\text{)}$	43.70

Nota. Elaboración propia.

Las propiedades de la sección se calculan en función a sus ejes locales, cuya orientación respecto a la sección transversal se muestra en la Figura 117.

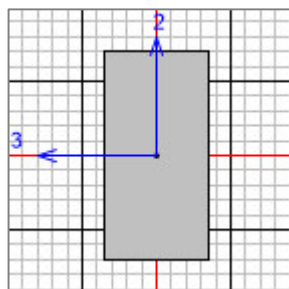


Figura 117. Sección Transversal 2"x4": Alternativa 02

- Esfuerzo a Flexión: para la verificación a flexión es necesario determinar el momento flector admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$M_{adm} = f_m \times S$$

Donde:

M_{adm} : Momento flector admisible de la sección
 f_m : Esfuerzo admisible a flexión, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 S : Módulo de sección, de acuerdo a la Tabla 60.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$M_{adm} = 100.00 \times 87.40 = 8\,740.00 \text{ kg.cm}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor máximo del momento flector actuante:

$$M_{act} = 3\,178.10 \text{ kg}$$

$$M_{act} < M_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 4" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a flexión.

- Esfuerzo a Cortante: para la verificación a cortante es necesario determinar la fuerza cortante admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$V_{adm} = f_v \times A_G$$

Donde:

V_{adm} : Fuerza cortante admisible de la sección
 f_v : Esfuerzo admisible a cortante, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 A_G : Área de corte de la sección, de acuerdo a la Tabla 60.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$V_{adm} = 8.00 \times 43.01 = 344.08 \text{ kg}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor del cortante máximo actuante:

$$V_{act} = 165.51 \text{ kg}$$

$$V_{act} < V_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 4" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a cortante.

- Deflexión Admisible: Se verificará para la combinación de carga más desfavorable en dirección de la gravedad:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

Donde:

δ_{max}	: Deflexión máxima en el centro de luz de un tramo simplemente apoyado
q	: Carga uniformemente distribuida aplicada (D+L+Lr)
L	: Longitud del elemento
E	: Módulo de elasticidad
I	: Momento de inercia de la sección

Reemplazando con los valores conocidos se tiene:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{1.46 \times 150^4}{90\,000 \times 443.98} = 0.24 \text{ cm}$$

$$\delta_{adm} = \frac{L}{450} = \frac{150}{450} = 0.33 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} < \delta_{adm}$$

Por tanto, se verifica que las deflexiones máximas que se producen sobre la sección de 2"x 3" satisfacen lo establecido en la norma técnica E.010.

3.2.10.4. Vigas Principales

Las vigas perimetrales del módulo temporal de vivienda son de sección compuesta 2"x6" +2"x4", cuyas propiedades se resumen en la Tabla 61.

Tabla 61

Propiedades de la Sección de Viga Principal: Alternativa 02

Propiedad de la Sección	Símbolo (Und)	Sección VP-01 2"x6" + 2"x4"
Área de la Sección	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	129.03
Área de Corte (2-2)	$A_{G2} \text{ (cm}^2\text{)}$	111.77
Área de Corte (3-3)	$A_{G3} \text{ (cm}^2\text{)}$	105.62
Momento de Inercia (3-3)	$I_{3-3} \text{ (cm}^4\text{)}$	2142.20
Momento de Inercia (2-2)	$I_{2-2} \text{ (cm}^4\text{)}$	1076.65
Radio de Giro (3-3)	$r_3 \text{ (cm}^4\text{)}$	4.07
Radio de Giro (2-2)	$R_2 \text{ (cm}^4\text{)}$	2.88
Módulo de Sección (3-3)	$S_3 \text{ (cm}^3\text{)}$	248.06
Módulo de Sección (2-2)	$S_2 \text{ (cm}^3\text{)}$	192.67

Nota. Elaboración propia.

Los ejes locales de la sección transversal se muestran en la Figura 118.

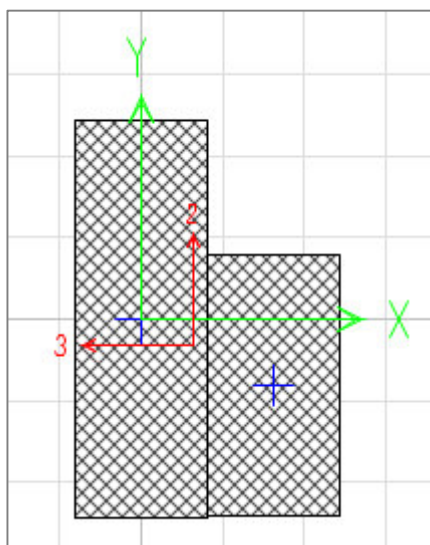


Figura 118. Sección Transversal 2"x6"+2"x4": Alternativa 02

- Esfuerzo a Flexión: para la verificación a flexión es necesario determinar el momento flector admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$M_{adm} = f_m \times S$$

Donde:

M_{adm} : Momento flector admisible de la sección
 f_m : Esfuerzo admisible a flexión, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 S : Módulo de sección, de acuerdo a la Tabla 61.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$M_{adm} = 100.00 \times 248.06 = 24\,806.00 \text{ kg.cm}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor máximo del momento flector actuante:

$$M_{act} = 10\,436.30 \text{ kg}$$

$$M_{act} < M_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 6" + 2"x4" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a flexión.

- Esfuerzo a Cortante: para la verificación a cortante es necesario determinar la fuerza cortante admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$V_{adm} = f_v \times A_G$$

Donde:

V_{adm} : Fuerza cortante admisible de la sección.
 f_v : Esfuerzo admisible a cortante, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 A_G : Área de corte de la sección, de acuerdo a la Tabla 61.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$V_{adm} = 8.00 \times 105.62 = 844.96 \text{ kg}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor del cortante máximo actuante:

$$V_{act} = 349.29 \text{ kg}$$

$$V_{act} < V_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 6" + 2"x4" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a cortante.

- Deflexión Admisible: Se verificará para la combinación de carga más desfavorable en dirección de la gravedad:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

Donde:

δ_{max}	: Deflexión máxima en el centro de luz de un tramo simplemente apoyado
q	: Carga uniformemente distribuida aplicada (D+L+Lr)
L	: Longitud del elemento
E	: Módulo de elasticidad
I	: Momento de inercia de la sección

Reemplazando con los valores conocidos se tiene:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{2.50 \times 234^4}{90\,000 \times 2\,142.20} = 0.50 \text{ cm}$$

$$\delta_{adm} = \frac{L}{450} = \frac{234}{450} = 0.52 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} < \delta_{adm}$$

Por tanto, se verifica que las deflexiones máximas que se producen sobre la sección de 2"x 6" + 2"x4" satisfacen lo establecido en la norma técnica E.010.

3.2.10.5. Vigas de Cobertura

Los paneles de techo y la cobertura ligera se apoyan sobre vigas de 2"x3", cuyas propiedades se resumen en la Tabla 62.

Tabla 62

Propiedades de la Sección de Viga de Cobertura: Alternativa 02

Propiedad de la Sección	Símbolo (Und)	Sección 2"x3"
Área de la Sección	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	38.71
Área de Corte (2-2)	$A_{G2} \text{ (cm}^2\text{)}$	32.26
Área de Corte (3-3)	$A_{G3} \text{ (cm}^2\text{)}$	32.26
Momento de Inercia (3-3)	$I_{3-3} \text{ (cm}^4\text{)}$	187.30
Momento de Inercia (2-2)	$I_{2-2} \text{ (cm}^4\text{)}$	83.25
Radio de Giro (3-3)	$r_3 \text{ (cm}^4\text{)}$	2.20
Radio de Giro (2-2)	$R_2 \text{ (cm}^4\text{)}$	1.47
Módulo de Sección (3-3)	$S_3 \text{ (cm}^3\text{)}$	49.16
Módulo de Sección (2-2)	$S_2 \text{ (cm}^3\text{)}$	32.77

Nota. Elaboración propia.

Las propiedades de la sección se calculan en función a sus ejes locales, cuya orientación respecto a la sección transversal se muestra en la Figura 119.

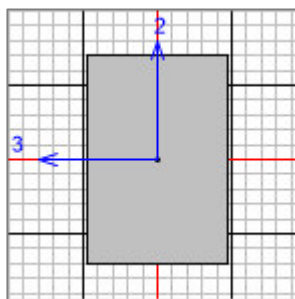


Figura 119. Sección Transversal 2"x3": Alternativa 02

- Esfuerzo a Flexión: para la verificación a flexión es necesario determinar el momento flector admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$M_{adm} = f_m \times S$$

Donde:

M_{adm} : Momento flector admisible de la sección.
 f_m : Esfuerzo admisible a flexión, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 S : Módulo de sección, de acuerdo a la Tabla 62.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$M_{adm} = 100.00 \times 49.16 = 4\,916.00 \text{ kg.cm}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor máximo del momento flector actuante:

$$M_{act} = 1\,244.74 \text{ kg}$$

$$M_{act} < M_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 3" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a flexión.

- Esfuerzo a Cortante: para la verificación a cortante es necesario determinar la fuerza cortante admisible de la sección, a través de la siguiente expresión:

$$V_{adm} = f_v \times A_G$$

Donde:

V_{adm} : Fuerza cortante admisible de la sección.
 f_v : Esfuerzo admisible a cortante, de acuerdo al numeral 3.2.3.
 A_G : Área de corte de la sección, de acuerdo a la Tabla 62.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión se tiene:

$$V_{adm} = 8.00 \times 32.26 = 258.08 \text{ kg}$$

Del análisis estructural, se obtiene el valor del cortante máximo actuante:

$$V_{act} = 48.64 \text{ kg}$$

$$V_{act} < V_{adm}$$

Por tanto, se verifica que la sección propuesta de 2"x 3" satisface el diseño por esfuerzos permisibles a cortante.

- Deflexión Admisible: Se verificará para la combinación de carga más desfavorable en dirección de la gravedad:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

Donde:

δ_{max}	: Deflexión máxima en el centro de luz de un tramo simplemente apoyado
q	: Carga uniformemente distribuida aplicada (D+L+Lr)
L	: Longitud del elemento
E	: Módulo de elasticidad
I	: Momento de inercia de la sección

Reemplazando con los valores conocidos se tiene:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{0.825 \times 60^4}{90\,000 \times 187.30} = 0.008 \text{ cm}$$

$$\delta_{adm} = \frac{L}{450} = \frac{60}{450} = 0.13 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} < \delta_{adm}$$

Por tanto, se verifica que las deflexiones máximas que se producen sobre la sección de 2"x 3" satisfacen lo establecido en la norma técnica E.010.

CAPITULO 4 :

Análisis de Confortabilidad Térmica

4.1. Generalidades

El confort térmico se define de acuerdo a la norma ISO 7730 *Ergonomía del Ambiente Térmico* como aquella condición de la mente que expresa satisfacción del ambiente térmico; por lo que depende del clima del lugar donde se ubicará el proyecto y de los parámetros locales de temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento.

En el Perú, el clima cálido de la costa norte ocasiona que la mayoría de las viviendas presenten inadecuados niveles de confort térmico y baja ventilación. Para mejorar las condiciones de habitabilidad de estas viviendas, se recurre frecuentemente a la implementación de sistemas de climatización y ventilación mecánica, que no resultan técnica ni económicamente viables para viviendas sociales como los módulos temporales, además de que contribuyen al crecimiento de la crisis energética e incrementan el costo de vida.

En consecuencia, el diseño y distribución de los módulos temporales de vivienda debe garantizar la existencia de un mecanismo de ventilación natural que proporcione a los usuarios las condiciones mínimas de habitabilidad y confort térmico; y debe emplear materiales adecuados para que sus elementos constructivos o componentes (plataforma, muros y techos) no superen los valores límites máximos de transmitancia térmica establecidos en la norma técnica EM 110 *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética* del Reglamento Nacional de Edificaciones (en adelante norma técnica EM 110).

La norma técnica EM 110 establece lineamientos y parámetros técnicos de diseño para cada zona bioclimática definida, los cuales serán aplicados en el presente trabajo para determinar los niveles de confort térmico del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno y del sistema de entramados de madera con revestimiento de fibrocemento. Los parámetros de diseño para cada sistema evaluado se describen en los acápites siguientes.

4.1.1. Zonificación bioclimática

El proyecto está ubicado en la provincia de Piura, departamento de Piura, a la que le corresponde la zonificación bioclimática de **Desértico**, de acuerdo al Anexo N° 1: *Ubicación de provincias por zona bioclimática* de la norma técnica EM 110. Las características definidas para esta zona bioclimática se muestran en la Tabla 63:

Tabla 63

Características Climáticas de la Zona Bioclimática Desértica del Perú

Características climáticas	(2) Desértico
1. Temperatura media anual	24° C
2. Humedad relativa media	50 a 70%
3. Velocidad de viento	Norte: 5-11 m/s
4. Dirección predominante del viento	S – SO - SE
5. Radiación solar	5 a 7 kWh/m ²
6. Horas de sol	Norte: 6 horas
7. Precipitación anual	< 150 a 500 mm
8. Altitud	400 a 2000 msnm
<i>Equivalente en la clasificación Koppen</i>	<i>Bw</i>

Nota. Tomado de “Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2014, Anexo N°01 (B) “Características Climáticas de cada zona bioclimática”, pág.24.

4.1.2. Transmitancia térmica máxima

La transmitancia térmica se define como la cantidad de calor que fluye a través de un elemento, en régimen estacionario, dividida por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento considerado. Los valores máximos permisibles de acuerdo a la norma técnica EM 110 son los siguientes:

Tabla 64

Valores Límites Máximos de Transmitancia Térmica (U) en $W/m^2 K$

Zona bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (U_{muro})	Transmitancia térmica máxima del techo (U_{techo})	Transmitancia térmica máxima del piso (U_{piso})
1. Desértico costero	2.36	2.21	2.63
2. Desértico	3.20	2.20	2.63
3. Interandino bajo	2.36	2.21	2.63
4. Mesoandino	2.36	2.21	2.63
5. Altoandino	1.00	0.83	3.26
6. Nevado	0.99	0.80	3.26
7. Ceja de montaña	2.36	2.20	2.63
8. Subtropical húmedo	3.60	2.20	2.63
9. Tropical húmedo	3.60	2.20	2.63

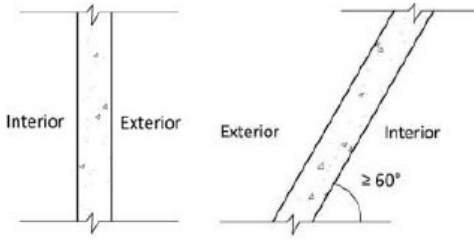

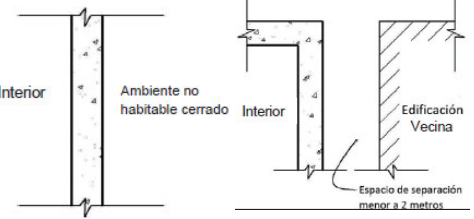
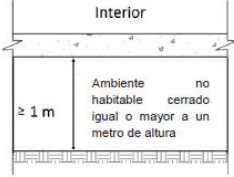
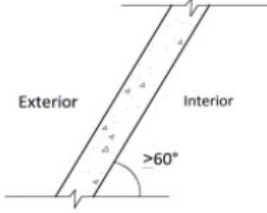

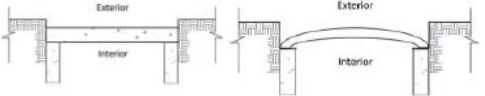
Nota. Tomado de “Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2014, pág.20.

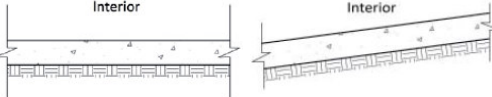
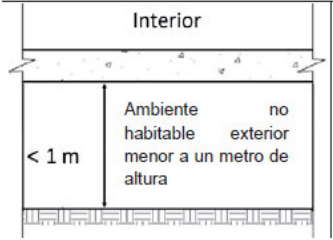
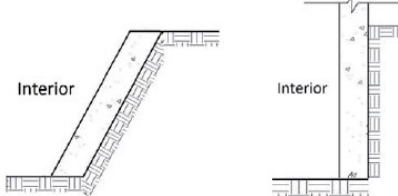
4.1.3. Envolverte

Se define a la envolvente como el elemento constructivo del edificio que lo separa del ambiente exterior (muros, techos y piso). Los vanos o aperturas se incluyen como parte del elemento constructivo en el que se sitúan, a fines de considerar su influencia.

Para determinar la transmitancia térmica de las envolventes es necesario establecer su tipología, la cual depende únicamente de la distribución y forma de los elementos constructivos.

Tabla 65
Tipologías de Envolvente

Tipo	Subtipo
Tipo 1 Envolventes de contacto con el ambiente exterior.	<p data-bbox="410 447 443 478">1A</p> <p data-bbox="472 380 894 548">Muro vertical de separación entre el interior de la edificación con ambientes no habitables cerrados o muro vertical de separación entre el interior de la edificación con otra edificación, cuando el espacio de separación es igual o menor a dos metros.</p>  <p data-bbox="410 663 443 695">1B</p> <p data-bbox="472 638 894 722">Losa horizontal o ligeramente inclinada de separación entre el interior de la edificación con un espacio exterior.</p> 
Tipo 2 Envolventes de separación con otros edificios o con ambientes no habitables.	<p data-bbox="410 892 443 924">2A</p> <p data-bbox="472 825 894 993">Muro vertical de separación entre el interior de la edificación con ambientes no habitables cerrados o muro vertical de separación entre el interior de la edificación con otra edificación, cuando el espacio de separación es igual o menor a dos metros.</p>  <p data-bbox="410 1119 443 1150">2B</p> <p data-bbox="472 1062 894 1199">Losa horizontal de separación entre el interior de la edificación con ambientes no habitables cerrados (garajes, almacenes, depósitos, etc.) igual o mayor a un metro de altura.</p> 
Tipo 3 Envolventes de techo o cubierta.	<p data-bbox="410 1335 443 1367">3A</p> <p data-bbox="472 1293 894 1398">Techo inclinado de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior (inclinación igual o menor a 60° con la horizontal)</p>  <p data-bbox="410 1556 443 1587">3B</p> <p data-bbox="472 1524 894 1608">Techo horizontal o curvo de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior.</p> 
	<p data-bbox="410 1776 443 1808">3C</p> <p data-bbox="472 1692 894 1881">Techo horizontal, curvo o inclinado de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior cuya cubierta final se encuentra debajo del nivel del terreno natural y donde toda la superficie de los muros está en contacto con el terreno natural.</p> 

Tipo	Subtipo	
4A	Losa o piso horizontal o ligeramente inclinado de separación entre el interior de la edificación con el terreno natural.	
Tipo 4 Envolventes de separación con el terreno.	4B	Losa o piso horizontal de separación entre el interior de la edificación con un ambiente no habitable exterior, menor a un metro.
	4C	Muro vertical o inclinado de separación entre el interior de la edificación con el terreno natural. El techo puede encontrarse sobre o debajo del nivel del terreno natural.
		 

Nota. Adaptado “Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética”, Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), 2014, pp. 16-18.

a) Muros

De acuerdo a la Tabla 65, los muros perimetrales de los módulos temporales de vivienda se clasifican en el subtipo 1A de la tipología 1 de envolventes. Para el cálculo del área efectiva de los muros, se determina el área y la ubicación de las puertas y ventanas, como se muestra a continuación.:

Tabla 66
Cuadro de Vanos

Vano	Ubicación	Cantidad	Área (m ²)	Área Total (m ²)
Ventana V1	Muro fachada	3	1.03	3.09
Puerta P1	Muro fachada	1	1.89	1.89
Ventana V2	Muro posterior	2	0.34	0.68

Nota. Elaboración propia.

En base a los resultados indicados en la Tabla 66, se obtienen las áreas brutas y efectivas de los muros perimetrales:

Tabla 67
Áreas brutas y efectivas de los muros perimetrales

Elemento	Denominación	Cantidad	Área bruta (m ²)	Área vanos (m ²)	Área efectiva (*) (m ²)
Muro Fachada	M1	1	14.40	4.98	9.42
Muro lateral exterior	M2	2	7.95	-	15.90
Muro Posterior	M3	1	17.4	0.68	16.72

(*) Se obtiene de la diferencia del Área bruta y el Área de vanos.

Nota. Elaboración propia.

b) Techo o Cobertura

De acuerdo a la Tabla 65, el techo o cobertura de los módulos temporales de vivienda se clasifica en el subtipo 3B de la tipología 3 de envolventes, puesto que en ambos sistemas evaluados se considera una cobertura a una sola agua con una pendiente de 16.95%, siendo el área de la superficie de 18.00 m².

c) Piso o Plataforma

De acuerdo a la Tabla 65, el piso o plataforma de los módulos temporales de vivienda se clasifica en el subtipo 4B de la tipología 4 de envolventes, puesto que en ambos sistemas evaluados la plataforma se encuentra aislada del terreno natural a través de pilotes o pedestales, siendo el área de la superficie de 18.00 m².

Una vez determinados los parámetros para el cálculo del nivel de confort térmico, los cuales resultan idénticos para ambos sistemas constructivos (paneles sándwich y entramados de madera), se procederá a efectuar el cálculo de la transmitancia térmica en los elementos constructivos (muros, techos y plataforma) de cada sistema, siguiendo la metodología de diseño señalada en la norma técnica EM 110.

4.2. Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno

4.2.1. Muros

Las envolventes tipo 1 son aquellas en contacto con el ambiente exterior (se incluyen ventanas o mamparas, puertas, muros, columnas, sobrecimientos, vigas, vestiduras de derrame y caja de persianas según aplique). Para el cálculo de su transmitancia térmica, se determina el valor característico de cada elemento siguiendo la metodología de la norma técnica EM 110, donde para cada uno, debe determinarse el valor de la transmitancia térmica (U) y el valor del área efectiva.

Ventanas

El proyecto cuenta con tres (03) ventanas tipo V1 y dos (02) ventanas tipo V2, que, para efectos de la norma peruana, están compuestas de vidrio o material transparente traslucido y del marco o carpintería; por lo que, se debe calcular la transmitancia térmica de cada componente.

El vidrio es del tipo crudo con espesor de 6mm, cuyo valor de transmitancia térmica ($U=5.70 \text{ W/m}^2\text{K}$) puede obtenerse del *Anexo N° 3 “Lista de características higrométricas de los materiales de construcción”* de la norma técnica EM 110. Para el cálculo del valor del área efectiva de todas las superficies vidriadas, se debe descontar las dimensiones del marco o carpintería.

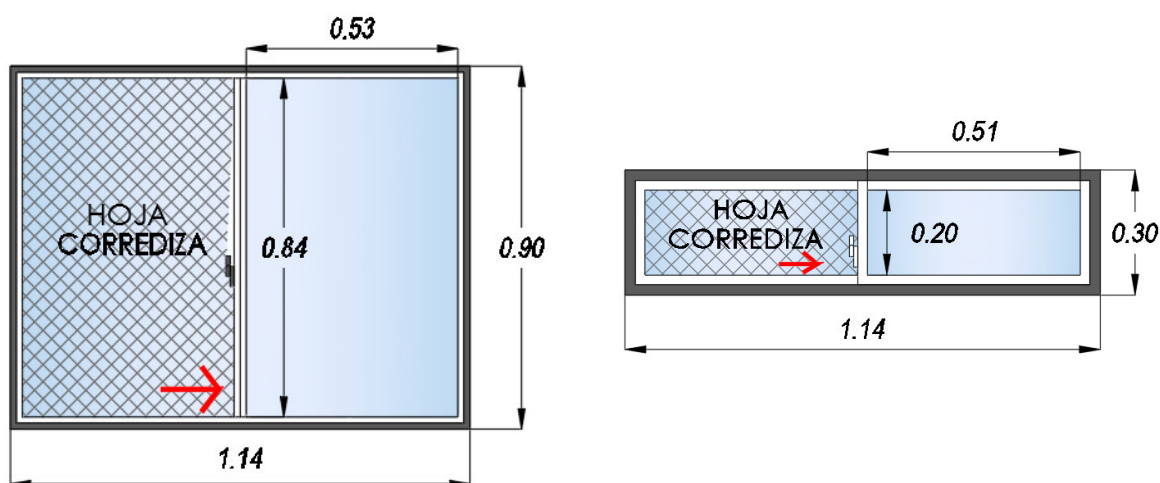


Figura 120. Detalle de Ventanas V1 y V2: Alternativa 01

De la Figura 120, se determina el área efectiva de la superficie vidriada de cada ventana, y del total de elementos existentes:

$$S_{V1} = 3 \times 0.84 \times 0.53 \times 2 = 2.67 \text{ m}^2$$

$$S_{V2} = 2 \times 0.20 \times 0.51 \times 2 = 0.41 \text{ m}^2$$

$$S_{VT} = 2.67 + 0.41 = 3.08 \text{ m}^2$$

En tanto que, el marco o carpintería de la ventana se clasifica como metálico sin rotura de puente térmico, y su valor de transmitancia térmica $U=5.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ se obtiene de la *Tabla N° 7 “Transmitancia térmica según tipos de carpintería o marco de ventanas en muros tipo 1A”* de la norma técnica EM 110.

El área de la carpintería metálica resulta del producto de su espesor (0.05m) y su largo o perímetro. De la Figura 120, se tiene:

$$S_{C1} = 3 \times (1.14 + 1.14 + 0.90 + 0.90 + 0.84) \times 0.05 = 0.74 \text{ m}^2$$

$$S_{C2} = 2 \times (1.14 + 1.14 + 0.30 + 0.30 + 0.20) \times 0.05 = 0.31 \text{ m}^2$$

$$S_{CT} = 0.74 + 0.31 = 1.05 \text{ m}^2$$

Puertas

El proyecto cuenta con una puerta P1 de 0.90 x 2.10 m, constituida por un panel sándwich de 50mm de espesor, cuyo valor de transmitancia térmica será calculado en el acápite correspondiente a los muros, puesto que tienen la misma composición. El área de la puerta se obtiene del producto de su largo y ancho:

$$S_{P1} = 0.90 \times 2.10 = 1.89 \text{ m}^2$$

Muros (1A)

De acuerdo a la Tabla 67, los muros perimetrales ocupan un área de 42.04 m² y son del tipo panel sándwich de 50 mm de espesor, compuestos por dos láminas metálicas de 0.50 mm en los extremos y un núcleo de poliestireno de 50 mm; es decir están conformados por varias capas y no poseen una cámara de aire en su interior, por lo que el valor de su transmitancia térmica se calcula con la siguiente expresión:

$$U_{muro} = \frac{1}{\left(\frac{e_{material1}}{k_{material1}} + \frac{e_{material2}}{k_{material2}} + \dots + R_{si} + R_{se}\right)}$$

Donde:

$e_{material}$: espesor del material componente del muro (m)
$k_{material}$: coeficiente de transmisión térmica del material componente del muro (W/m°C)
R_{si}	: resistencia superficial interna (0.06 W/m ² K) ¹²
R_{se}	: resistencia superficial externa (0.11 W/m ² K) ¹³

Los coeficientes de transmisión térmica $k=50$ W/m°C para las láminas metálicas, y $k=0.033$ W/m°C para el poliestireno expandido, se obtienen del *Anexo N° 3 “Lista de características higrométricas de los materiales de construcción”* de la norma técnica EM 110. Con estos datos se procede al cálculo de la transmitancia térmica de los muros tipo 1A:

$$U_{muro} = \frac{1}{\left(\frac{0.0005}{50} + \frac{0.05}{0.033} + \frac{0.0005}{50} + 0.06 + 0.11\right)}$$

$$U_{muro} = \frac{1}{1.685}$$

$$U_{muro} = 0.59 \frac{W}{m^2K}$$

¹² Valor establecido en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

¹³ Valor establecido en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

Como se puede observar en el desarrollo de la expresión, el cociente entre el espesor de las láminas metálicas y su coeficiente de transmisión térmica, no tiene mayor incidencia en el resultado, por lo que para el cálculo de la transmitancia térmica de elementos compuestos por varias capas, suelen omitirse aquellas con espesor menor a 5mm.

Los resultados parciales obtenidos para la transmitancia térmica de cada componente de los muros Tipo 1A, se resumen en la Tabla 68:

Tabla 68

Transmitancia Térmica de los Muros Tipo 1A para el Sistema de Paneles Tipo Sándwich

Tipo	Pieza	Elementos	Espesor (m)	Perímetro (m)	RST/RCA (m ² °C/w)	Coef. Transmisión Térmica (W/m °C)	S ₁	U ₁	S ₁ XU ₁
Muro Tipo 1A	Ventanas	Ventanas							
		Vidrio Crudo 6mm	0.006	-	-	-	3.08	5.70	17.56
		Carpintería del Marco							
		Metálico, sin rotura de puente térmico	0.050	20.92	-	-	1.05	5.70	5.99
	Puertas	Resistencias Superficiales							
		Externa (R.S.E)	-	-	0.11	-	-	-	-
		Interna (R.S.I)	-	-	0.06	-	-	-	-
		Puerta de Panel Sándwich							
		Lámina Metálica	0.0005	-	-	50.00			
		Poliestireno Expandido (EPS)	0.05	-	-	0.033	1.89	0.59	1.12
		Lámina Metálica	0.0005	-	-	50			
	Panel	Resistencias Superficiales							
		Externa (R.S.E.)	-	-	0.11	-	-	-	-
		Interna (R.S.I)	-	-	0.06	-	-	-	-
		Muro s/cámara de aire N°01							
		Lámina Metálica	0.0005	-	-	50.00			
		Poliestireno Expandido (EPS)	0.05	-	-	0.033	42.04	0.59	24.80
		Lámina Metálica	0.0005	-	-	50.00			

Nota. Elaboración propia.

El valor de la transmitancia térmica final de la envolvente Tipo 1, se calcula con la siguiente expresión, válida para muros tipo 1A con y sin cámara de aire:

$$U_{muros}^{final} = \frac{\sum S_i \times U_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2 + S_3 \times U_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots}$$

Donde:

$\sum S_i$: Suma total de las superficies de cada tipo de elemento de la envolvente.

$\sum S_i \times U_i$: Suma total de todos los productos de la superficie y la transmitancia térmica de cada elemento.

Reemplazando la expresión con los valores obtenidos, se tiene:

$$U_{muros}^{final} = \frac{17.56 + 5.99 + 1.12 + 24.80}{3.08 + 1.05 + 1.89 + 42.04}$$

$$U_{muros}^{final} = \frac{49.47}{48.06} = 1.03 \frac{W}{m^2 K}$$

Este resultado se compara con la transmitancia térmica máxima para muros, de acuerdo a la zona bioclimática respectiva (Ver Tabla 64).

$$U_{muros}^{final} = 1.03 < U_{max} = 3.20$$

Por lo tanto, se evidencia que las envolventes tipo 1 del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno, tienen una transmitancia térmica menor a la transmitancia térmica máxima establecida en la norma técnica EM 110, cumpliendo con la misma.

4.2.2. Techo o Cobertura

El techo o cubierta tiene un área efectiva de 18.00 m², y está conformado por paneles sándwich de 50mm, por lo que el cálculo de la transmitancia térmica se efectúa de manera similar al procedimiento detallado anteriormente para el cálculo de la transmitancia térmica de muros tipo 1A, siendo la expresión a utilizar:

$$U_{techo} = \frac{1}{\left(\frac{e_{material1}}{k_{material1}} + \frac{e_{material2}}{k_{material2}} + \dots + R_{si} + R_{se}\right)}$$

Donde:

- $e_{material}$: espesor del material componente del techo (m)
 $k_{material}$: coeficiente de transmisión térmica del material componente del techo (W/m°C)
 R_{si} : resistencia superficial interna (0.17 W/m²K)¹⁴
 R_{se} : resistencia superficial externa (0.05 W/m²K)¹⁵

$$U_{techo} = \frac{1}{\left(\frac{0.0005}{50} + \frac{0.05}{0.033} + \frac{0.0005}{50} + 0.05 + 0.17\right)}$$

$$U_{techo} = \frac{1}{1.735}$$

$$U_{techo} = 0.58 \frac{W}{m^2 K}$$

Los cálculos efectuados se resumen en la Tabla 69:

Tabla 69

Transmitancia Térmica de Techos Tipos 3B para el Sistema de Paneles Sándwich

Tipo	Pieza	Elementos	Espesor (m)	Perímetro (m²)	RST/RCA (m² °C/w)	Coef. Transmisión Térmica (W/m °C)	S ₁	U ₁	S ₁ XU ₁
Techo Tipo 3B	Panel	Resistencias Superficiales							
		Externa (R.S.E)	-	-	0.17	-	-	-	-
		Interna (R.S.I)	-	-	0.05	-	-	-	-
		Muro s/cámara de aire N°01							
		Lámina Metálica	0.0005	-	-	50.00			
		Poliestireno Expandido (EPS)	0.05	-	-	0.033	18.00	0.58	10.44
		Lámina Metálica	0.0005	-	-	50			

Nota. Elaboración propia.

¹⁴ Valor establecido para techos tipo 3B en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

¹⁵ Valor establecido para techos tipo 3B en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

El valor de la transmitancia térmica final de la envolvente Tipo 3, se calcula con la siguiente expresión, válida para techos tipos 3B:

$$U_{techos}^{final} = \frac{\sum S_i \times U_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2 + S_3 \times U_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots}$$

Donde:

$\sum S_i$: Suma total de las superficies de cada tipo de elemento de la envolvente.

$\sum S_i \times U_i$: Suma total de todos los productos de la superficie y la transmitancia térmica de cada elemento.

Reemplazando la expresión con los valores obtenidos, se tiene:

$$U_{techo}^{final} = \frac{10.44}{18.00} = 0.58 \frac{W}{m^2K}$$

Este resultado se compara con la transmitancia térmica máxima para techos, de acuerdo a la zona bioclimática respectiva (Ver Tabla 64).

$$U_{muros}^{final} = 0.58 < U_{max} = 2.20$$

Por lo tanto, se evidencia que el techo o cobertura del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno, tienen una transmitancia térmica menor a la transmitancia térmica máxima establecida en la norma técnica EM 110, cumpliendo con la misma.

4.2.3. Piso o Plataforma

La plataforma del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno se encuentra instalada sobre pedestales de concreto (a 30 cm del terreno natural, aislándolo del mismo y constituyendo una cámara de aire) y está conformada por paneles de triplay fenólico de 18 mm de espesor unidos mediante perfilera metálica conformada en frío de acuerdo a la distribución espacial indicada en la Figura 121:

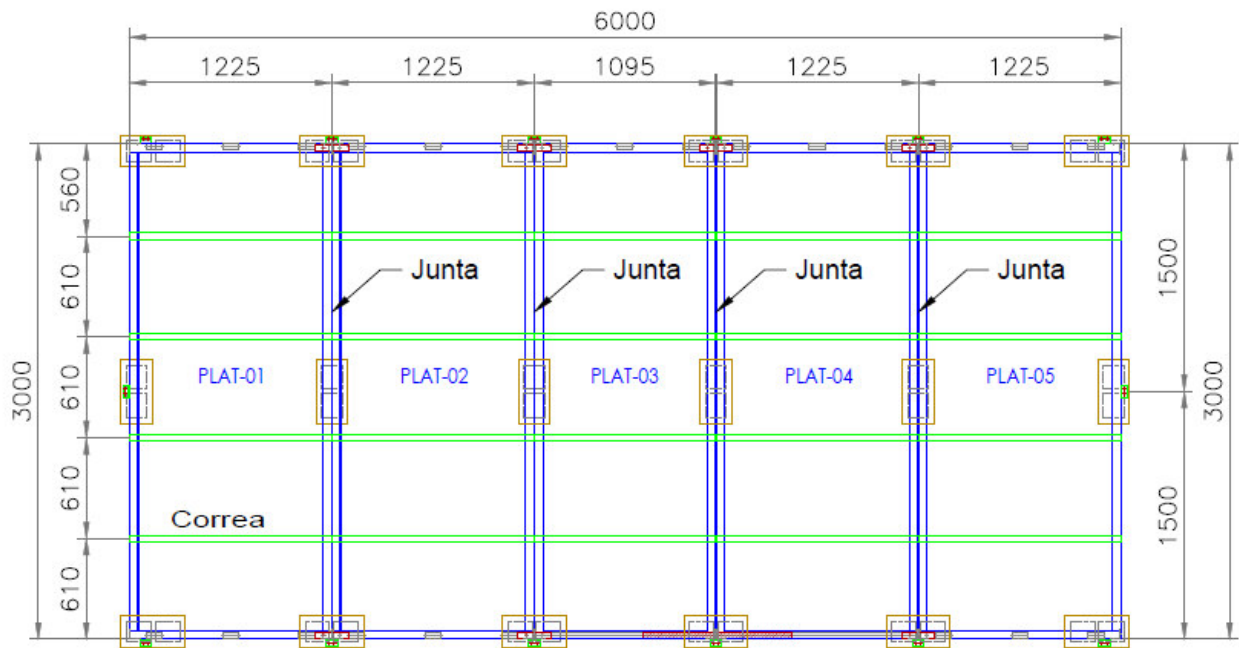


Figura 121. Plataforma de Piso del Sistema de Paneles Sándwich

Las juntas en la plataforma son prácticamente herméticas y no permiten la ventilación o ingreso del flujo de aire a través de los intersticios. El espacio debajo de la plataforma representa una cámara de aire no ventilada debido a que separa el módulo de un ambiente no habitable con altura menor a 1m, por lo que se puede considerar que se satisface la siguiente relación:

$$\frac{S}{A} < 3 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$

Donde:

S : Sección total de los orificios de ventilación (cm²).

A : Superficie del elemento horizontal (m²)

Por lo tanto, el coeficiente de transmitancia térmica U (en m²- K/W) se obtiene de la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U} = R_{si} + R_i + R_{ca} + R_e + R_{se}$$

Donde:

R_i : resistencia térmica de la cara interior del triplay fenólico 18mm.

R_{ca} : resistencia térmica de la cámara de aire de 30 cm (0.15 m²K/W)¹⁶.

R_e : resistencia térmica de la cara exterior del triplay fenólico de 18 mm.

R_{si} : coeficiente superficial interno para zona bioclimática 2 (0.09 m²K/W)¹⁷.

R_{se} : coeficiente superficial externo para zona bioclimática 2 (0.09 m²K/W)¹⁸.

La resistencia térmica del triplay fenólico de 18 mm se calcula de la siguiente manera:

$$R_i = R_e = \frac{e}{k}$$

Donde:

e : espesor del material (m)

k : coeficiente de conductividad térmica del triplay fenólico (0.14 W/mK)¹⁹

Por lo tanto:

$$R_{si} = R_{se} = \frac{0.018}{0.14} = 0.13 \frac{m^2 K}{W}$$

Reemplazando los valores obtenemos:

$$\frac{1}{U} = 0.09 + 0.13 + 0.15 + 0.13 + 0.09 = 0.59 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U_{\text{piso}}^{\text{final}} = \frac{1.00}{0.59} = 1.69 \frac{W}{m^2 K}$$

Este resultado se compara con la transmitancia térmica máxima para pisos (Ver Tabla 64):

$$U_{\text{piso}}^{\text{final}} = 1.69 < U_{\text{max}} = 2.63$$

Por lo tanto, se evidencia que la plataforma del sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno, tiene una transmitancia térmica menor a la transmitancia térmica máxima permisible.

¹⁶ Valor establecido para la zona bioclimática 2 en la *Tabla N.º 14* de la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

¹⁷ Valor establecido para piso tipo 4B en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

¹⁸ Valor establecido para piso tipo 4B en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

¹⁹ Valor obtenido del *Anexo N.º 3 "Lista de características higrométricas de los materiales de construcción"* de la norma técnica EM 110.

4.3. Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento

4.3.1. Muros

Para obtener la transmitancia térmica final de los muros tipo 1A, se realizará un procedimiento análogo al mostrado en el numeral 4.2.1.

Ventanas

El proyecto cuenta con tres (03) ventanas tipo V1 y dos (02) ventanas tipo V2, ambas de hojas batientes de marcos de madera y fibrocemento, cuyo coeficiente de transmitancia térmica ($k=0.22$ W/m°C) puede obtenerse del *Anexo N° 3 “Lista de características higrométricas de los materiales de construcción”* de la norma técnica EM 110. Para el cálculo del valor del área efectiva del fibrocemento, es necesario descontar las dimensiones del marco o carpintería.

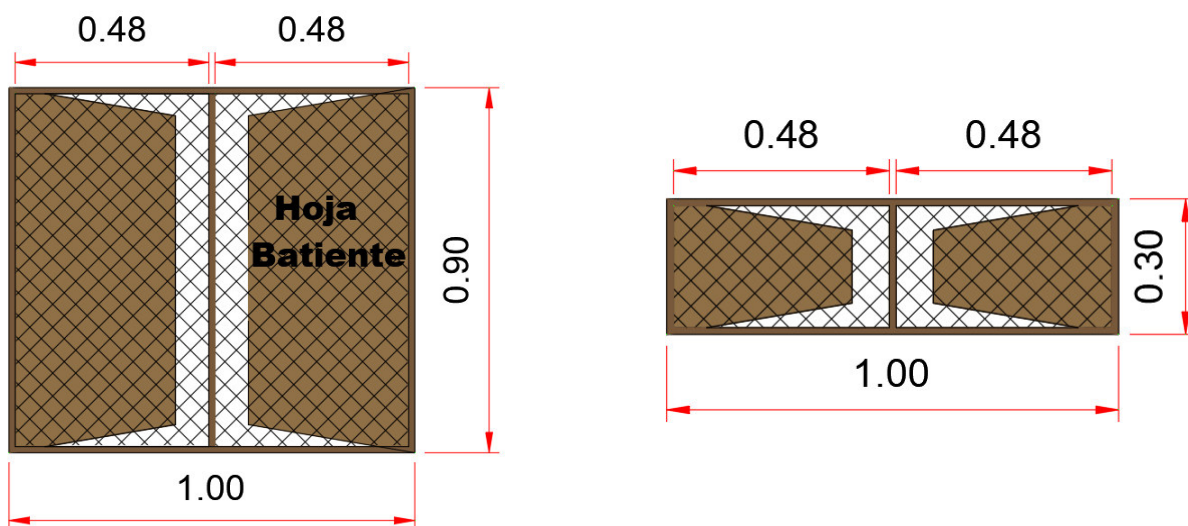


Figura 122. Detalle de Ventanas V1 y V2: Alternativa 02

De la Figura 122, se determina el área efectiva del fibrocemento de cada ventana, y del total de elementos existentes:

$$S_{V1} = 3 \times 0.90 \times 0.48 \times 2 = 2.59 \, m^2$$

$$S_{V2} = 2 \times 0.30 \times 0.48 \times 2 = 0.58 \, m^2$$

$$S_{VT} = 2.59 + 0.58 = 3.17 \, m^2$$

En tanto que, el marco o carpintería de la ventana está compuesto de madera de densidad baja y su valor de transmitancia térmica $U=2.00 \text{ W/m}^2\text{K}$ se obtiene de la *Tabla N° 7 “Transmitancia térmica según tipos de carpintería o marco de ventanas en muros tipo 1A”* de la norma técnica EM 110.

El área de la carpintería de madera resulta del producto de su espesor (0.05m) y su largo o perímetro. De las Figura 122, se tiene:

$$S_{C1} = 3 \times (1.00 + 1.00 + 0.90 + 0.90 + 0.90) \times 0.05 = 0.71 \text{ m}^2$$

$$S_{C2} = 2 \times (1.00 + 1.00 + 0.30 + 0.30 + 0.30) \times 0.05 = 0.29 \text{ m}^2$$

$$S_{CT} = 0.74 + 0.29 = 1.00 \text{ m}^2$$

Puertas

El proyecto cuenta con una puerta P1 de 0.90 x 2.10 m, del tipo Contraplacada de fibra MDF, cuyo valor de transmitancia térmica $U = 4.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ se obtiene de la *Tabla N° 8 “Transmitancia térmica de puertas en muros tipo 1A”* de la norma técnica EM 110. El área de la puerta se obtiene del producto de su largo y ancho:

$$S_{P1} = 0.90 \times 2.10 = 1.89 \text{ m}^2$$

Muros (1A)

De acuerdo a la Tabla 67, los muros perimetrales ocupan un área efectiva de 42.04 m^2 y están compuestos por entramados de madera revestidos con placas de fibrocemento fijadas por ambos lados (con espesores de 6 mm para la cara externa y 4 mm para la cara interna), además de contar en su interior con un aislante térmico como lo es la lana de vidrio de baja densidad; es decir están conformados por varias capas, por lo que el valor de su transmitancia térmica se calcula con la siguiente expresión:

$$U_{muro} = \frac{1}{\left(\frac{e_{material1}}{k_{material1}} + \frac{e_{material2}}{k_{material2}} + \dots + R_{si} + R_{se} \right)}$$

Donde:

$e_{material}$: espesor del material componente del muro (m)
$k_{material}$: coeficiente de transmisión térmica del material componente del muro (W/m°C)
R_{si}	: resistencia superficial interna (0.06 W/m²K) ²⁰
R_{se}	: resistencia superficial externa (0.11 W/m²K) ²¹

Los coeficientes de transmisión térmica son $k=0.22$ W/m°C para las placas de fibrocemento, y $k=0.043$ W/m°C para la lana de vidrio de baja densidad, valores que pueden obtenerse del *Anexo N° 3 “Lista de características higrométricas de los materiales de construcción”* de la norma técnica EM 110. Estos valores se reemplazan en la expresión anterior:

$$U_{muro} = \frac{1}{\left(\frac{0.006}{0.22} + \frac{0.05}{0.043} + \frac{0.004}{0.22} + 0.06 + 0.11 \right)}$$

$$U_{muro} = \frac{1}{1.378}$$

$$U_{muro} = 0.73 \frac{W}{m^2 K}$$

La norma técnica EM 110 establece que, para el caso de muros en base a paneles prefabricados fijados a pies derechos o parantes de madera, no se considera la influencia de estos elementos en el cálculo del nivel del confort térmico, debido a la escasa capacidad de este material como conductor térmico.

Los resultados parciales obtenidos para la transmitancia térmica de cada componente de los muros Tipo 1A, se resumen en la Tabla 70:

²⁰ Valor establecido en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

²¹ Valor establecido en la norma técnica EM 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

Tabla 70*Transmitancia Térmica de los Muros Tipo 1A para el Sistema de Entramados de Madera*

Tipo	Pieza	Elementos	Espesor (m)	Perímetro (m)	RST/RCA (m ² °C/w)	Coef. Transmisión Térmica (W/m °C)	S ₁	U ₁	S ₁ XU ₁
Muro Tipo 1A	Ventanas	Resistencias Superficiales							
		Externa (R.S.E.)	-	-	0.11	-	-	-	-
		Interna (R.S.I)	-	-	0.06	-	-	-	-
		Ventanas							
		Placa de Fibrocemento (6mm)	0.006	-	-	0.22	3.17	5.07	16.07
		Carpintería del Marco							
		Madera de Densidad Baja	0.050	20.92	-	-	1.00	2.00	2.00
	Puertas	Puertas							
		Puerta Contraplacada de Fibra MDF	-	-	-	-	1.89	4.70	8.88
	Panel	Resistencias Superficiales							
		Externa (R.S.E.)	-	-	0.11	-	-	-	-
		Interna (R.S.I)	-	-	0.06	-	-	-	-
		Muro s/cámara de aire N°01							
		Placa de Fibrocemento (6mm)	0.006	-	-	0.22			
		Lana de Vidrio de Baja Densidad (50mm)	0.050	-	-	0.043	42.04	0.73	30.69
		Placa de Fibrocemento (4mm)	0.004	-	-	0.22			

Nota 1. Para el caso de paneles prefabricados fijados a pies derechos, no se considera la influencia de estos elementos en el cálculo del nivel de confort térmico (EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, 2014).

Nota 2. Elaboración propia.

El valor de la transmitancia térmica final de la envolvente Tipo 1, se calcula con la siguiente expresión, válida para muros tipo 1A con y con cámara de aire:

$$U_{muros}^{final} = \frac{\sum S_i \times U_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2 + S_3 \times U_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots}$$

Donde:

$\sum S_i$: Suma total de las superficies de cada tipo de elemento de la envolvente.

$\sum S_i \times U_i$: Suma total de todos los productos de la superficie y la transmitancia térmica de cada elemento.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión, obtenemos:

$$U_{muros}^{final} = \frac{16.07 + 2.00 + 8.88 + 30.69}{3.17 + 1.00 + 1.89 + 42.04}$$

$$U_{muros}^{final} = \frac{57.64}{48.10} = 1.20 \frac{W}{m^2 K}$$

Este resultado se compara con la transmitancia térmica máxima para muros, de acuerdo a la zona bioclimática respectiva (Ver Tabla 64).

$$U_{muros}^{final} = 1.20 < U_{max} = 3.20$$

Por lo tanto, se evidencia que las envolventes tipo 1 del sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento, tienen una transmitancia térmica menor a la transmitancia térmica máxima establecida en la norma técnica EM 110, cumpliendo con la misma.

4.3.2. Techo o Cobertura

El techo o cubierta tiene un área efectiva de 18.00 m², y está compuesto por bastidores de madera revestidos con placa de fibrocemento en ambas caras. En su interior, llevan un relleno de lana de vidrio, y fijadas en la parte superior, placas onduladas de fibrocemento de espesor e=5 mm de acuerdo al siguiente detalle:

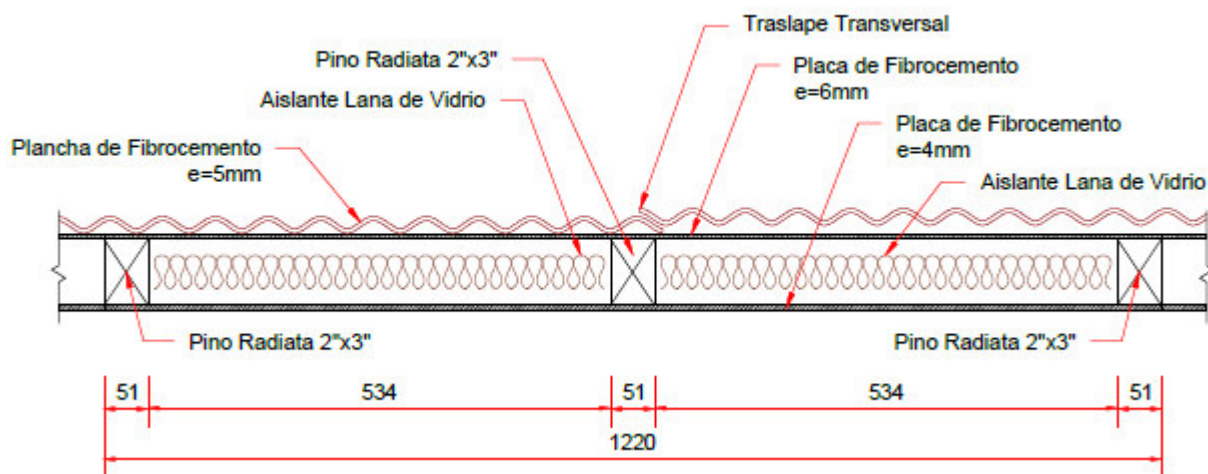


Figura 123. Detalle de panel techo – Sistema de Entramados de Madera

Como se puede observar en la Figura 123, los paneles techo del sistema de entramados de madera revestidos con placa de fibrocemento están conformados por varias capas de materiales, determinándose el valor de su transmitancia térmica mediante la expresión:

$$U_{techo} = \frac{1}{\left(\frac{e_{material1}}{k_{material1}} + \frac{e_{material2}}{k_{material2}} + \dots + R_{si} + R_{se} \right)}$$

Donde:

- $e_{material}$: espesor del material componente del techo (m)
- $k_{material}$: coeficiente de transmisión térmica del material componente del techo (W/m°C)
- R_{si} : resistencia superficial interna (0.17 W/m²K)²²
- R_{se} : resistencia superficial externa (0.05 W/m²K)²³

Los coeficientes de transmisión térmica $k=0.22$ W/m°C para las placas de fibrocemento y $k=0.043$ W/m°C para la lana de vidrio de baja densidad, pueden obtenerse del *Anexo N° 3 “Lista de características higrométricas de los materiales de construcción”* de la norma técnica EM 110.

²² Valor establecido para techos tipo 3B en la norma técnica EM 110.

²³ Valor establecido para techos tipo 3B en la norma técnica EM 110.

Reemplazando los valores en la expresión anterior:

$$U_{techo} = \frac{1}{\left(\frac{0.005}{0.22} + \frac{0.05}{0.043} + \frac{0.004}{0.22} + 0.05 + 0.17\right)}$$

$$U_{techo} = \frac{1}{1.42} = 0.70 \frac{W}{m^2 K}$$

Los resultados parciales obtenidos para la transmitancia térmica de cada componente de los techos Tipo 3B, se resumen en la Tabla 71:

Tabla 71

Transmitancia Térmica de Techos Tipos 3B para el Sistema de Entramados de Madera

Tipo	Pieza	Elementos	Espesor (m)	Perímetro (m ²)	RST/RCA (m ² °C/w)	Coef. Transmisión Térmica (W/m °C)	S _i	U _i	S _i XU _i
Techo Tipo 3B	Panel	Resistencias Superficiales							
		Externa (R.S.E)	-	-	0.05	-	-	-	-
		Interna (R.S.I)	-	-	0.17	-	-	-	-
		Muro s/cámara de aire N°01							
		Placa de Fibrocemento (5mm)	0.005	-	-	0.22			
		Lana de Vidrio de Baja Densidad (50mm)	0.050	-	-	0.043	18.00	0.70	12.60
		Placa de Fibrocemento Ondulada	0.005	-	-	0.22			

Nota. Elaboración propia.

El valor de la transmitancia térmica final de la envolvente Tipo 3, se calcula con la siguiente expresión, válida para techos tipos 3B:

$$U_{techos}^{final} = \frac{\sum S_i \times U_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2 + S_3 \times U_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots}$$

Donde:

$\sum S_i$: Suma total de las superficies de cada tipo de elemento de la envolvente.

$\sum S_i \times U_i$: Suma total de todos los productos de la superficie y la transmitancia térmica de cada elemento.

Reemplazando los valores conocidos en la expresión, obtenemos:

$$U_{techo}^{final} = \frac{12.60}{18.00} = 0.70 \frac{W}{m^2 K}$$

Este resultado se compara con la transmitancia térmica máxima para techos, de acuerdo a la zona bioclimática respectiva (Ver Tabla 64).

$$U_{muros}^{final} = 0.70 < U_{max} = 2.20$$

Por lo tanto, se evidencia que el techo o cobertura del sistema de entramados de madera revestidos con placa de fibrocemento, tienen una transmitancia térmica menor a la transmitancia térmica máxima establecida en la norma técnica EM 110, cumpliendo con la misma.

4.3.3. Piso o Plataforma

La plataforma del sistema de entramados de madera revestidos con placa de fibrocemento se encuentra instalada sobre pedestales de madera (a 30 cm del terreno natural, aislándolo del mismo y constituyendo una cámara de aire) y está conformada por paneles de triplay fenólico de 18 mm de espesor apoyados sobre vigas estructurales de madera, de acuerdo a la distribución espacial indicada en la Figura 124:

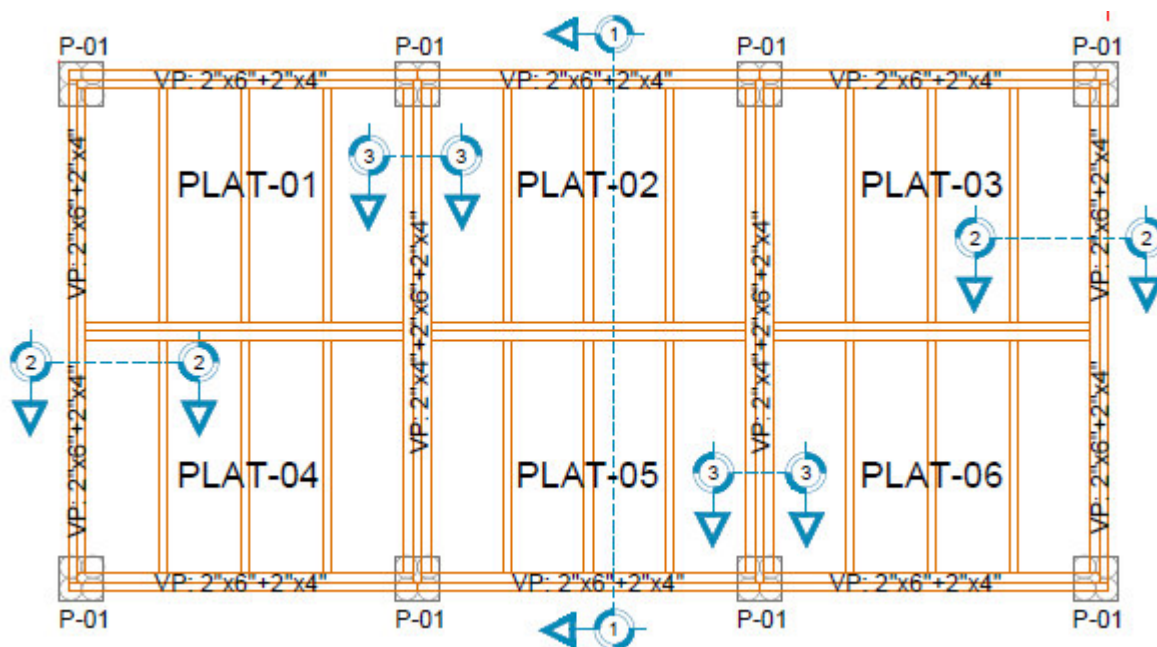


Figura 124. Detalle de Plataforma – Sistema de Entramados de Madera

Las juntas en la plataforma son prácticamente herméticas y no permiten la ventilación o ingreso del flujo de aire a través de los intersticios. El espacio debajo de la plataforma representa una cámara de aire no ventilada debido a que separa el módulo de un ambiente no habitable con altura menor a 1m, por lo que se puede considerar que se satisface la siguiente relación:

$$\frac{S}{A} < 3 \frac{cm^2}{m^2}$$

Donde:

S : Sección total de los orificios de ventilación (en cm²).

A : Superficie del elemento horizontal (en m²)

Por lo tanto, el coeficiente de transmitancia térmica U (en m²- K/W) se obtiene de la siguiente expresión:

$$\frac{1}{U} = R_{si} + R_i + R_{ca} + R_e + R_{se}$$

Donde:

R_i : resistencia térmica de la cara interior del triplay fenólico 18mm.

R_{ca} : resistencia térmica de la cámara de aire de 30 cm (0.15 m²K/W)²⁴.

R_e : resistencia térmica de la cara exterior del triplay fenólico de 18 mm.

R_{si} : coeficiente superficial interno para zona bioclimática 2 (0.09 m²K/W)²⁵.

R_{se} : coeficiente superficial externo para zona bioclimática 2 (0.09 m²K/W)²⁶.

La resistencia térmica del triplay fenólico de 18 mm se calcula de la siguiente manera:

$$R_i = R_e = \frac{e}{k}$$

Donde:

e : espesor del material (en m)

k : coeficiente de conductividad térmica del triplay fenólico (0.14 W/mK)²⁷

²⁴ Valor establecido para la zona bioclimática 2 de la *Tabla N.º 14* de la norma técnica EM 110.

²⁵ Valor establecido para piso tipo 4B en la norma técnica EM 110.

²⁶ Valor establecido para piso tipo 4B en la norma técnica EM 110.

²⁷ Valor obtenido del *Anexo N.º 3 "Lista de características higrométricas de los materiales de construcción"* de la norma técnica EM 110.

Por lo tanto:

$$R_{si} = R_{se} = \frac{0.018}{0.14} = 0.13 \frac{m^2 K}{W}$$

Reemplazando los valores obtenemos:

$$\frac{1}{U} = 0.09 + 0.13 + 0.15 + 0.13 + 0.09 = 0.59 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U_{piso}^{final} = \frac{1.00}{0.59} = 1.69 \frac{W}{m^2 K}$$

Este resultado se compara con la transmitancia térmica máxima para pisos, de acuerdo a la zona bioclimática respectiva (Ver Tabla 64).

$$U_{piso}^{final} = 1.69 < U_{max} = 2.63$$

Por lo tanto, se evidencia que el piso o plataforma del sistema de entramados de madera revestidos con placa de fibrocemento, tiene una transmitancia térmica menor a la transmitancia térmica máxima establecida en la norma técnica EM 110, cumpliendo con la misma.

CAPITULO 5 :

Análisis Económico

Una de las características de los módulos temporales de vivienda establecidas en las bases de los procesos de selección para la adquisición de los mismos, es que sus componentes o materiales deben ser prefabricados y diseñados de forma tal que se realice el menor trabajo posible para su armado y puesta en funcionamiento. Además, teniendo en cuenta que el armado, desarmado y movilización desde el almacén local hasta la ubicación definitiva corresponde al usuario final o beneficiario, los ítems considerados para la estimación del costo del proceso de producción corresponderán a los trabajos realizados en la planta de fabricación.

Asimismo, puesto que el fin de la presente investigación es realizar un análisis comparativo entre el sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno y el sistema de entramados de madera revestidos con placa de fibrocemento, se prescindirá de los costos asociados a las partidas que resulten comunes a ambos sistemas, como es el caso de la partida de transporte de módulos hacia el almacén local, gastos referidos a supervisión, seguridad y demás gastos generales. Debido a que los módulos temporales de vivienda son requeridos en situaciones de emergencia, se genera una alta demanda que debe corresponderse con la mayor capacidad de oferta posible, por ello el modelo de solución a través de sistemas modulares resulta atractivo, puesto que con elementos prefabricados puedan alcanzarse óptimos volúmenes de producción que permitan una reducción de costos en razón a la economía de escala.

Los plazos estimados para la fabricación de los módulos temporales de vivienda, están relacionados con la demanda o cantidad necesaria de producción, y el tiempo máximo requerido para su entrega. De acuerdo al proceso de contratación directa N° 022-2017-VIVIENDA-OGA-

UE.001, que convocó el MVCS post-ocurrencia del fenómeno El Niño Costero 2017, en la región Piura se requirió un total de 5 197 módulos temporales de vivienda, que debían ser entregados en un plazo de 70 días calendarios, lo cual conlleva a un ritmo de producción requerido de como mínimo un promedio de 75 MTV por día.

Tabla 72

Ratios de producción promedio de MTV

Componente	Unidad	Cantidad por día
Plataforma	Kit	75.00
Paneles Muro	m2	4014.00
Paneles techo	m2	1706.25
Instalaciones Eléctricas	Kit	70.00

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, el costo de mano de obra y de los materiales necesarios para la fabricación de los módulos temporales de vivienda, fluctúa en dependencia de la cantidad que se requiere fabricar y entregar, debido a que las empresas se ven obligadas a incrementar o reducir su capacidad de producción, así como adquirir a mayor o menor escala los materiales necesarios para la fabricación, incidiendo directamente el costo directo del módulo prefabricado.

Por lo tanto, para fines de este trabajo, la mano de obra y los materiales que inciden en el costo directo de fabricación de los módulos temporales de vivienda utilizando el sistema de paneles sándwich y el sistema de entramados de manera, serán estimados considerando una producción de 5 200 MTV para ser entregados en 70 días calendario, con lo cual pueden realizarse cálculos concretos de los costos de producción por unidad.

5.1. Sistema de Paneles Sándwich con Núcleo de Poliestireno

5.1.1. Presupuesto

A continuación, se presenta las partidas consideradas para la estimación del presupuesto para la fabricación de un módulo temporal de vivienda en base al sistema de paneles sándwich con núcleo de poliestireno.

Tabla 73

Presupuesto de Fabricación de Módulo Temporal de Vivienda - Alternativa 01

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	PLATAFORMA				1.026.21
01.01	ESTRUCTURA GALVANIZADA				152.32
01.01.01	Perfiles galvanizados e=0.75 mm	kg	48.04	2.25	108.09
01.01.02	Kit de conexiones para instalación en obra	glb	1.00	44.23	44.23
01.02	PEDESTAL DE CONCRETO				119.70
01.02.01	Pedestal de Concreto + Tapa de OSB	und	18.00	6.65	119.70
01.03	TRIPLAY FENOLICO				580.50
01.03.01	Triplay Fenólico 18mm film 2 caras	pln	6.27	90.00	564.30
01.03.02	Consumibles para instalación	glb	1.00	16.20	16.20
01.04	MANO DE OBRA				173.69
01.04.01	Fabricación y armado de plataforma	glb	1.00	92.76	92.76
01.04.02	Habilitado de Plataforma	glb	1.00	80.93	80.93
02	MUROS				4,391.41
02.01	PANELES Y ACCESORIOS LIVIANOS				3,320.05
02.01.01	Paneles 50mm D18 (muros exteriores + ventanas)	m2	47.70	53.44	2,549.09
02.01.02	Paneles 30mm D18 (muros interiores)	m2	10.92	48.14	525.73
02.01.03	Accesorios livianos en muros	glb	1.00	233.42	233.42
02.01.04	Consumibles para habilitado de paneles y accesorios	glb	1.00	11.81	11.81
02.02	PUERTAS				113.94
02.02.01	Puerta exterior batiente 01 hoja (con panel de 50mm)	glb	1.00	113.94	113.94
02.03	VENTANAS				708.86
02.03.01	Ventana alum. Corrediza 0.90 x 1.14m 2 hojas y malla mosquitero	und	3.00	174.90	524.70
02.03.02	Ventana alum. Corrediza 0.30 x 1.14m 2 hojas y malla mosquitero	und	2.00	88.14	176.29
02.03.03	Consumibles para instalación	glb	1.00	7.87	7.87
02.04	MANO DE OBRA				248.56
02.04.01	Habilitado de paneles y accesorios	glb	1.00	68.56	68.56
02.04.02	Fabricación e instalación de puerta exterior	und	1.00	55.00	55.00
02.04.03	Instalación de ventanas V1 (0.90 x 1.14m)	und	3.00	25.00	75.00
02.04.04	Instalación de ventanas V2 (0.30 x 1.14m)	und	2.00	25.00	50.00

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
03	TECHOS				1,469.74
03.01	PANELES Y ACCESORIOS LIVIANOS				1,440.36
03.01.01	Panel 50mm D18 (1 cara blanca y 1 cara rojo teja)	m2	22.51	59.32	1,335.26
03.01.02	Accesorios livianos en techos	glb	1.00	100.04	100.04
03.01.03	Consumibles para habilitado en paneles y accesorios	glb	1.00	5.06	5.06
03.02	MANO DE OBRA				29.38
03.02.01	Habilitado de paneles y accesorios	glb	1.00	29.38	29.38
04	KIT DE ARMADO				174.17
04.01	KIT DE ARMADO Y HERRAMIENTAS				174.17
04.01.01	Kit de armado	glb	1.00	93.54	93.54
04.01.02	Kit de herramientas	glb	1.00	80.63	80.63
05	INSTALACIONES ELECTRICAS				440.71
05.01	MATERIALES ELECTRICOS				370.00
05.01.01	Kit eléctrico	glb	1.00	370.00	370.00
05.02	MANO DE OBRA				70.71
05.02.01	Habilitado de kit eléctrico	glb	1.00	70.71	70.71
Subtotal					S/. 7, 502.23
IGV (18%)					S/. 1, 350.40
Total					S/. 8, 852.63

Nota. Elaboración propia.

5.2. Sistema de Entramados de Madera y Fibrocemento

5.2.1. Presupuesto

A continuación, se presenta las partidas consideradas para la estimación del presupuesto para la fabricación de un módulo temporal de vivienda en base al sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento:

Tabla 74

Presupuesto de Fabricación de Módulo Temporal de Vivienda - Alternativa 02

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	PLATAFORMA				1,917.00
01.01	ESTRUCTURA RETICULAR				493.44
01.01.01	Listón 2"x6"	ml	24.00	11.86	284.75
01.01.02	Listón 2"x4"	ml	27.00	6.86	185.20
01.01.03	Consumibles	glb	1.00	23.50	23.50
01.02	PEDESTAL				277.07
01.02.01	Madera bolaina d=5" , h=2.5 pies	und	32.00	8.50	272.00
01.02.02	Triplay 10mm	pln	0.20	25.34	5.07
01.03	PISO MODULAR				985.63
01.03.01	Triplay fenólico e=18 mm film 2 caras	pln	6.27	83.00	520.41
01.03.02	Listón 2"x4"	ml	63.64	6.86	436.51
01.03.02	Consumibles para instalación	glb	1.00	28.71	28.71
01.04	MANO DE OBRA				160.87
01.04.01	Fabricación y armado de piso modular	m2	18.00	8.94	160.87
02	MUROS				3,773.02
02.01	PANELES MURO				2,112.07
02.01.01	Listón 2"x2"	ml	230.00	3.23	743.11
02.01.02	Placa de fibrocemento e=6mm	pln	18.48	33.81	624.99
02.01.03	Placa de fibrocemento e=4mm	pln	18.48	19.92	368.10
02.01.04	Lana de vidrio	m2	53.42	5.88	314.35
02.01.05	Consumibles para habilitado de paneles muro	glb	1.00	61.52	61.52
02.02	PUERTAS				173.90
02.02.01	Puerta de madera Contraplacada 0.90x2.10m	und	1.00	140.00	140.00
02.02.02	Cerradura de 01 golpe	und	1.00	33.90	33.90
02.03	VENTANAS				586.25
02.03.01	Ventana madera batiente 0.90x1.00m. 2 hojas y malla mosquitero	und	3.00	156.82	470.47
02.03.02	Ventana madera batiente 0.30x1.00m. 2 hojas y malla mosquitero	und	2.00	52.15	104.29
02.03.03	Consumibles para instalación	glb	1.00	11.50	11.50
02.04	MANO DE OBRA				900.79

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
02.04.01	Fabricación y armado de paneles muro	m2	53.42	13.41	716.12
02.04.02	Fabricación e instalación de puerta exterior	und	1.00	59.67	59.67
02.04.03	Instalación de ventanas V1 0.90 x 1.00 m.	und	3.00	25.00	75.00
02.04.04	Instalación de ventanas V2 0.30 x 1.00 m.	und	2.00	25.00	50.00
03	TECHOS				1,158.31
03.01	PANELES TECHO				913.66
03.01.01	Listón 2"x2"	ml	63.00	3.23	203.55
03.01.02	Placa de fibrocemento e=4mm	pln	12.54	19.92	249.74
03.01.03	Lana de fibra de vidrio e=50mm	m2	18.25	5.88	107.39
03.01.04	Plancha ondulada de fibrocemento e=5mm	pln	6.94	47.88	332.30
03.01.05	Consumibles para habilitado de paneles techo	glb	1.00	20.68	20.68
03.02	MANO DE OBRA				244.65
03.02.01	Fabricación y armado de paneles techo	m2	18.25	13.41	244.65
04	KIT DE ARMADO				176.01
04.01	KIT DE ARMADO Y HERRAMIENTAS				176.01
04.01.01	Kit de armado	glb	1.00	101.16	101.16
04.01.02	Kit de herramientas	glb	1.00	74.85	74.85
05	INSTALACIONES ELECTRICAS				440.71
05.01	MATERIALES ELECTRICOS				370.00
05.01.01	Kit eléctrico	glb	1.00	370.00	370.00
05.02	MANO DE OBRA				70.71
05.02.01	Habilitado de kit eléctrico	glb	1.00	70.71	70.71
Subtotal					S/. 7, 465.05
IGV (18%)					S/. 1, 343.71
Total					S/. 8, 808.76

Nota. Elaboración propia.

CAPITULO 6 :

Evaluación y Presentación de Resultados

6.1. Comportamiento Estructural Frente a Cargas Laterales

6.1.1. Comportamiento Sismorresistente

Se ha evidenciado que ambos sistemas constructivos tienen un comportamiento adecuado frente a cargas sísmicas, debido en gran medida a que emplean materiales ligeros en su fabricación. Los principales parámetros obtenidos del análisis estructural, son los siguientes:

a) Modos de vibración y Periodo fundamental de vibración

Del análisis estructural efectuado, se obtuvo los siguientes periodos fundamentales de vibración para las alternativas evaluadas.

Tabla 75
Periodos Fundamentales de Vibración

Periodos	Paneles Sándwich		Entramados de Madera	
	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
Periodo fundamental de vibración (s)	0.01883	0.02272	0.02054	0.02022
Periodo estimado según E.030 (s)	0.05333	0.05333	0.05333	0.05333
% de variación	-64.70%	-57.40%	-61.48%	-62.08%

Nota. Elaboración propia.

Se observa que ambos sistemas constructivos, el periodo fundamental de vibración presenta un alto porcentaje de variación respecto al calculado empíricamente de acuerdo a la norma técnica E.030. Esto demuestra que, para ambos sistemas, el cálculo del periodo fundamental no debe realizarse de forma empírica, puesto que la fórmula empleada para dicha estimación es aplicable únicamente en sistemas constructivos convencionales, no incluyéndose los sistemas constructivos evaluados en la presente investigación.

Por otro lado, se observa que el periodo fundamental de los dos sistemas constructivos se ubica en la meseta de sus respectivos espectros de diseño, es decir, en ambos casos resulta equivalente al máximo valor de las fuerzas sísmicas elásticas de diseño divididas por el coeficiente de reducción de fuerza sísmica R .

b) Peso sísmico

La estimación del peso sísmico para ambos sistemas constructivos, fue la siguiente:

Tabla 76

Estimación del Peso Sísmico de las Alternativas Evaluadas

Peso	Paneles Sándwich			Entramados de Madera		
	Estimación manual (kg)	SAP 2000 (kg)	Variación (%)	Estimación manual (kg)	SAP 2000 (kg)	Variación (%)
Plataforma	216.00	-	-	454.22	-	-
Muros	481.68	-	-	908.32	-	-
Techo	318.50	-	-	562.01	-	-
0.25 Carga Viva	1 070.63	-	-	1 068.00	-	-
Total	2 086.81	2 159.95	3.50%	2 992.55	2 943.55	3.55%

Nota. Elaboración propia.

Se aprecia que, para ambas alternativas, el peso sísmico calculado automáticamente por el software presenta una variación mínima respecto al peso sísmico estimado manualmente. Esto es un indicador de que se puede esperar una confiabilidad aceptable en los resultados del análisis sísmico dinámico.

Por otra parte, se evidencia que un módulo temporal de vivienda fabricado con el sistema de entramados de madera pesa aproximadamente un 35% más que uno fabricado con el sistema de paneles sándwich.

c) Cortante Basal

Se observa que el sistema de entramados de madera, debido a su mayor peso y masa sísmica, presenta un cortante basal estático superior al de la estructura de paneles sándwich.

Tabla 77

Cortante Basal Estático y Dinámico de las Alternativas Evaluadas

Descripción	Paneles Sándwich		Entramados de Madera	
	X	Y	X	Y
Cortante basal estático (Ton)	444.95	444.95	520.42	520.42
80% del cortante basal estático (Ton)	355.96	355.96	416.34	416.34
Cortante basal dinámico (Ton)	266.46	278.54	350.63	353.09
Factor Escalar	1.33589	1.27795	1.18739	1.17912

Nota. Elaboración propia.

d) Derivas

En ambos sistemas estructurales, el valor de la deriva resulta menor que los límites establecidos en la norma técnica E.030. Esto, principalmente porque son sistemas constructivos ligeros, cuyo peso por metro cuadrado oscila entre los 120 kg/m² y 160 kg/m², que resultan poco considerables comparados con los 1000 kg/m² de peso aproximado de las edificaciones de concreto armado.

Tabla 78

Distorsiones de Entrepiso

Descripción	Paneles Sándwich		Entramados de Madera	
	X	Y	X	Y
Muro Fachada	0.000186	-	0.000054	-
Muro Posterior	0.000090	-	0.000054	-
Muro Eje A	-	0.000139	-	0.000055
Muro Eje D	-	0.000135	-	0.000055
Muros Intermedios	-	0.000149	-	0.000057

Nota. Elaboración propia.

6.2. Comportamiento Estructural Frente a Cargas de Gravedad

a) Deflexiones o Flechas

Del análisis estructural efectuado, se obtuvieron las siguientes deflexiones máximas en las coberturas de cada sistema constructivo, bajo condiciones de servicio:

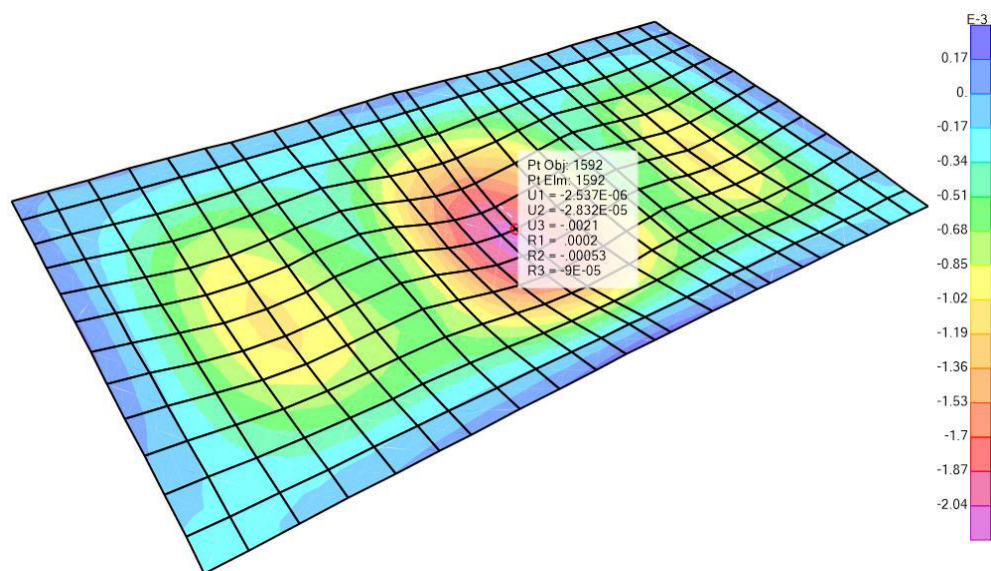


Figura 125. Flecha máxima producida por Carga Viva en cobertura (m): Alternativa 01

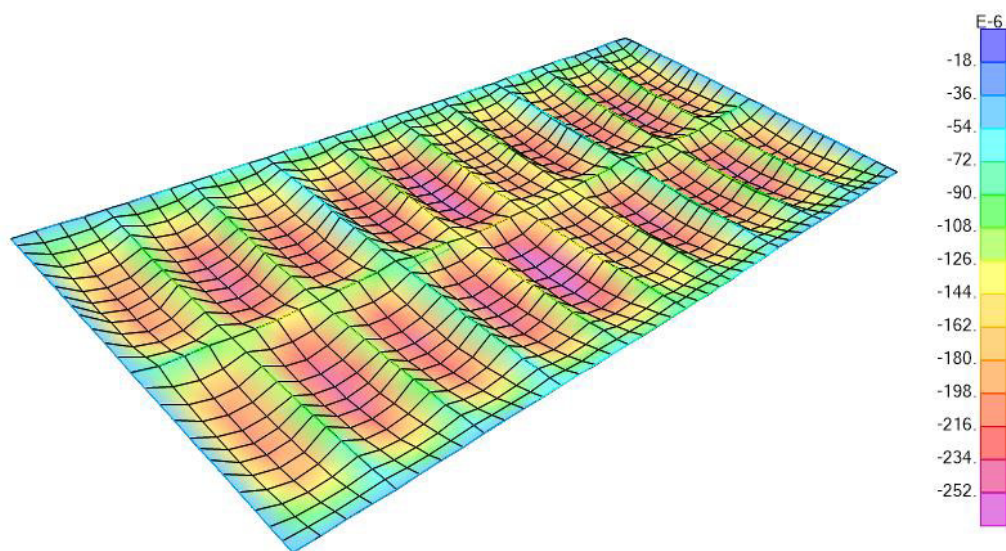


Figura 126. Flecha máxima producida por Carga Viva en cobertura (m): Alternativa 02

Las deflexiones máximas calculadas, no deben exceder las deflexiones máximas admisibles establecidas en la normativa nacional para cada sistema estructural.

Tabla 79

Deflexiones Máximas en la Cobertura de cada Sistema Constructivo

Sistema Constructivo	Luz de Cobertura (m)	Deflexión máxima (m)	Deflexión Admisible (m)
Paneles Sándwich	3.00	0.00201	0.010
Entramados de madera	3.00	0.00505	0.017

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, se observa que ambos sistemas constructivos tienen un comportamiento óptimo bajo condiciones de servicio, con valores para sus deflexiones máximas por debajo de las deflexiones admisibles correspondientes.

Del mismo modo, en las plataformas de ambos sistemas constructivos se tiene que las deflexiones máximas bajo condiciones de servicio están por debajo de las deflexiones admisibles, tal como se detalla a continuación:

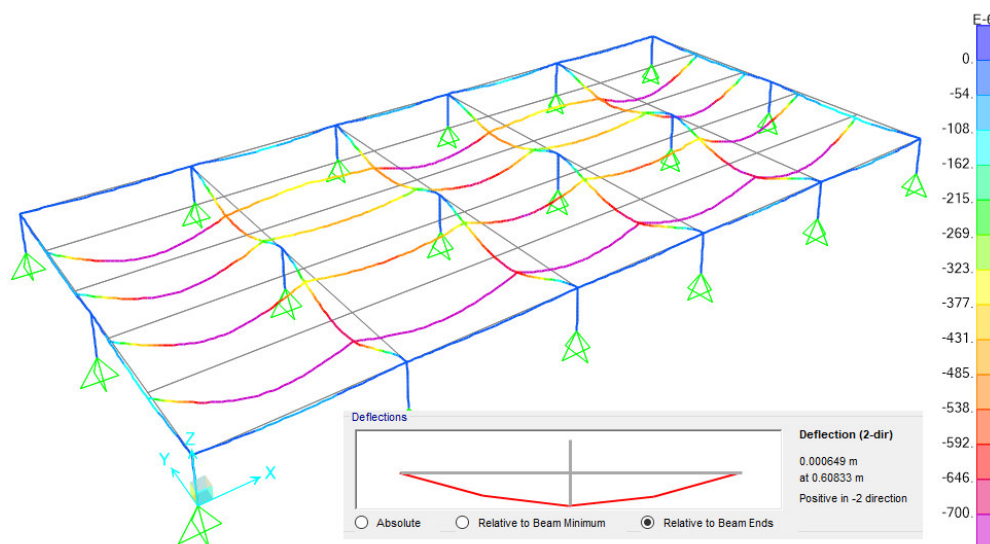


Figura 127. Flecha máxima producida por Carga Viva en plataforma (m): Alternativa 01

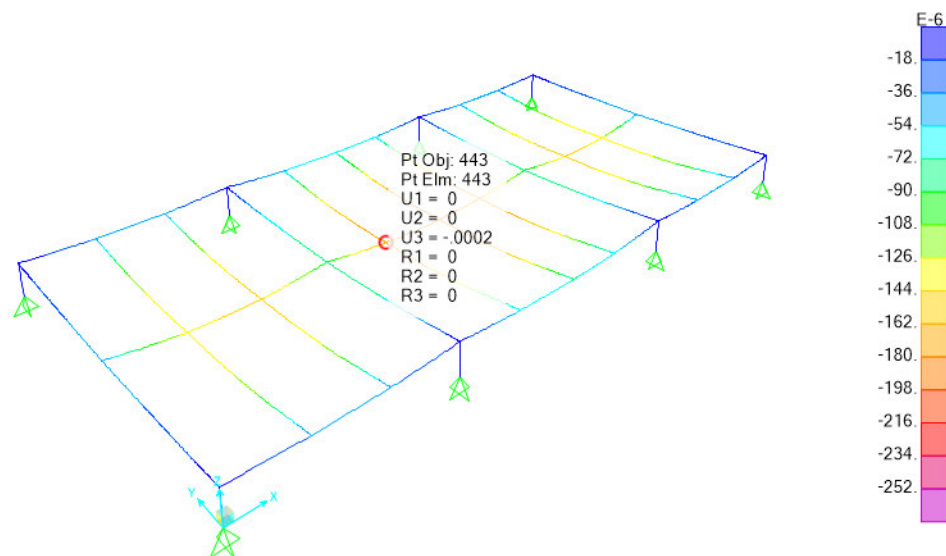


Figura 128. Flecha máxima producida por Carga Viva en plataforma (m): Alternativa 02

Tabla 80

Deflexiones Máximas en la Plataforma de cada Sistema Constructivo

Sistema Constructivo	Elemento	Luz de Elemento (m)	Deflexión máxima (m)	Deflexión Admisible (m)	Porcentaje de capacidad
Paneles Sándwich	Perfil Y	1.225	0.00065	0.0034	19.12
Entramados de madera	Liston 2"x2"	1.50	0.0002	0.0042	4.76

Nota. Elaboración propia.

6.3. Confort Térmico

Del análisis realizado, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 81

Valores de Transmitancia Térmica por Componente de cada Sistema Constructivo

Componente del Sistema Constructivo	Transmitancia Térmica (W/m ² K)		
	Máxima	Paneles Sandwich	Entramados de Madera
Muros	3.20	1.03	1.20
Techo	2.20	0.58	0.70
Plataforma	2.63	1.69	1.69

Nota. Elaboración propia.

Al respecto, se observa que ambos sistemas presentan un nivel de confortabilidad térmica aceptable, de acuerdo a lo establecido en la norma técnica EM.110; esto es fundamentalmente, debido a que los componentes de cada alternativa, emplean núcleos de materiales aislantes (con bajo nivel de transmitancia térmica), tales como el poliestireno expandido en el sistema de paneles sándwich, y la lana de vidrio en el sistema de entramados de madera revestidos con fibrocemento.

El uso de los materiales aislantes, planteado desde el diseño arquitectónico, resulta beneficioso en los MTV, puesto que hace factible prescindir de artefactos de calefacción y refrigeración, lo cual conlleva a la reducción de los costos directos de producción y los costos de servicios de energía eléctrica durante su uso, además de contribuir a la sostenibilidad ambiental.

6.4. Evaluación Económica

Los costos por componente constructivo y el total para cada sistema constructivo se presentan a continuación:

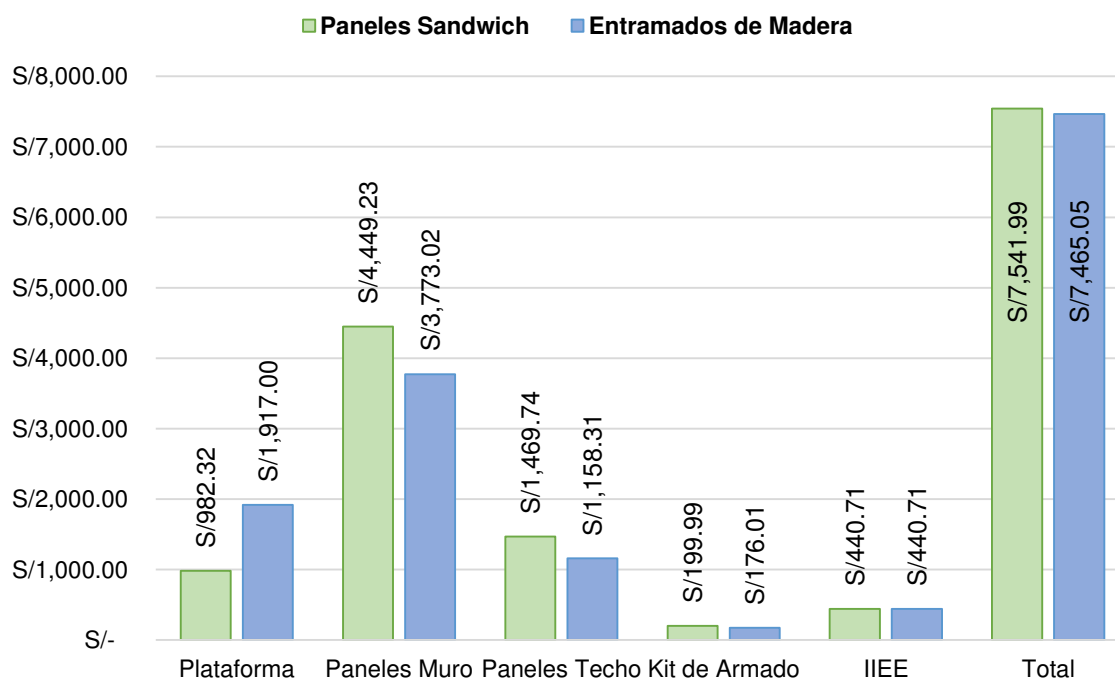


Figura 129. Costo Directo por componente constructivo

Se observa que el costo directo resulta similar entre ambas alternativas, no obstante, al efectuar una comparación componente a componente, se evidencia una diferencia sustancial en el costo de la plataforma, donde el sistema de entramados de madera presenta un costo de S/ 934.69 superior al del sistema de paneles sándwich; caso contrario ocurre en los paneles muro y paneles techo, donde el sistema de paneles sándwich presenta un costo adicional de S/ 676.22 y S/ 311.43 respectivamente, en relación al sistema de entramados de madera.

Asimismo, a fin de determinar el componente con mayor porcentaje de incidencia en el costo directo de cada alternativa, se realizaron las gráficas de participación mostradas a continuación:

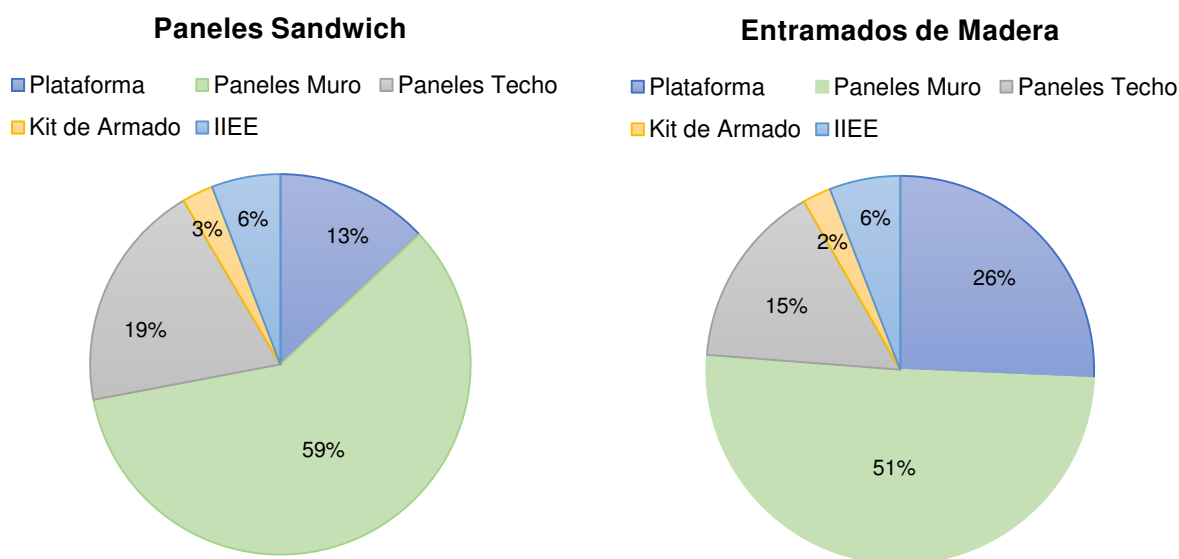


Figura 130. Incidencia de componentes en el costo directo.

Puede notarse que, para ambos sistemas constructivos, el componente con mayor incidencia en el costo directo está representado por los paneles muro, siendo mayor al 50% en cada caso. Respecto a los paneles techo, se observa que tienen un porcentaje de incidencia similar en cada sistema. La diferencia más considerable reside en la plataforma, puesto que para el sistema de paneles sándwich tiene una incidencia del 13% en el costo directo, y para el sistema de entramados de madera tiene una incidencia del 26%.

De igual modo, las siguientes figuras muestran los porcentajes de incidencia en el costo directo de los materiales empleados para la fabricación en planta, la mano de obra para la habilitación y el armado de los componentes en planta, así como los materiales y consumibles para la instalación en obra.

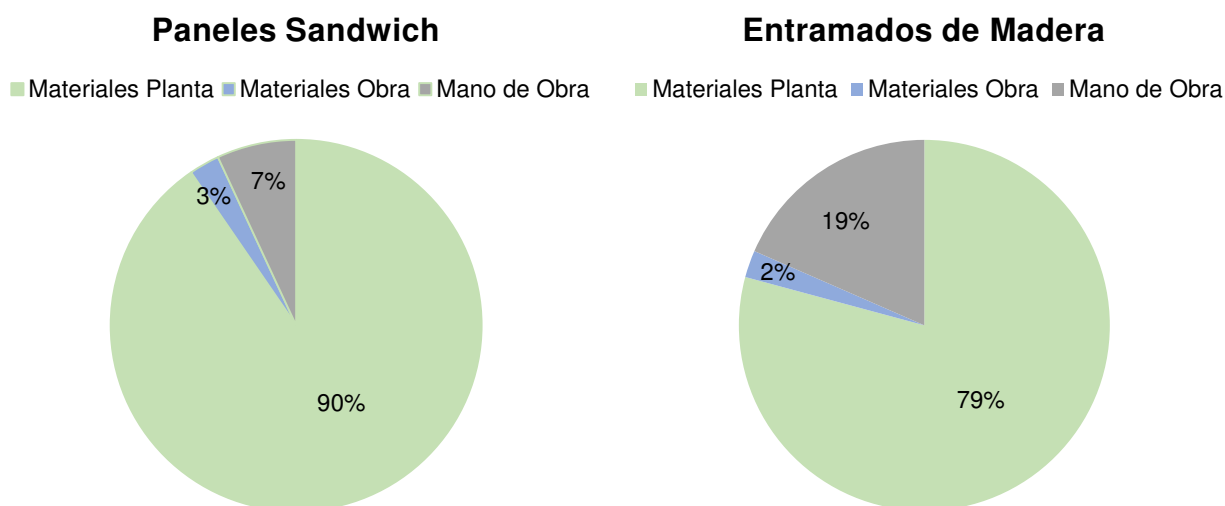


Figura 131. Incidencia de componentes en el costo directo.

En ambas alternativas, los materiales utilizados para la fabricación y habilitación de los módulos temporales de vivienda en planta son los que presentan mayor incidencia en el costo directo, representando un 90% para el sistema de paneles sándwich, y un 79% para el sistema de entramados de madera. Asimismo, se observa que, en ambos sistemas constructivos, los materiales necesarios para la instalación en obra o kit de armado tienen una incidencia muy baja en el costo directo, con un 3% y 2% respectivamente. Del mismo modo, se observa que la mano de obra, en el sistema de entramados de madera tiene una mayor incidencia (19%) en el costo directo, respecto al sistema de paneles sándwich (7%), esto se explica debido a que los paneles muro y techo de los paneles sándwich se fabrican en líneas de producción continua, interviniendo únicamente la mano de obra en la habilitación; lo contrario ocurre en los paneles muro y techo del sistema de

entramados de madera, ya que al estar compuestos por listonería de madera que debe unirse entre sí, ser fijados a una placa de fibrocemento por un lado, para luego ser rellenos con la lana de vidrio, y finalmente fijar una placa de fibrocemento en la cara opuesta, conlleva una mayor intervención de mano de obra en el proceso de producción.

Otro punto de referencia importante, es la relación entre el costo directo y la cantidad de metros cuadrados de área construida (18 m² de área en planta), puesto que esta medida permitirá una estimación preliminar del costo unitario de un proyecto de módulo temporal de vivienda en función del área construida establecida.

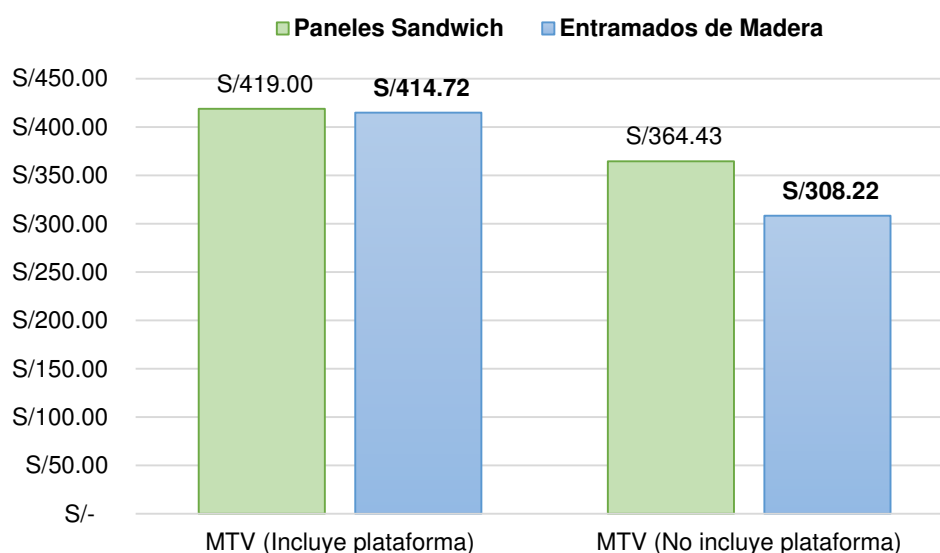


Figura 132. Costo Directo por metro cuadrado

Como se muestra en la figura anterior, el costo directo por metro cuadrado resulta muy similar entre ambas alternativas evaluadas, no obstante, se observa que, si no se considera el costo de la plataforma, la relación costo directo por metro cuadrado es mucho menor en el sistema de entramados de madera. Esta última información resulta relevante, puesto que la plataforma es un componente complementario, que podría ser prescindible en función de las condiciones del terreno sobre el que serán instalados los módulos temporales de vivienda.

6.5. Discusión de Resultados

De acuerdo a los resultados, los MTV fabricados en base al sistema de paneles sándwich y el sistema de entramados de madera satisfacen los requerimientos estructurales de la normativa nacional vigente, teniendo en cuenta las consideraciones climáticas y de confort básico establecidas por la ubicación del proyecto. Las distorsiones de entrepiso o derivas, así como las deflexiones máximas calculadas en el techo y la plataforma y los esfuerzos admisibles en cada elemento, se encuentran por debajo de los límites tolerables de acuerdo a las normas técnicas E.010, aplicable para el sistema de entramados de madera; E.090, aplicable para el sistema de paneles sándwich; y E.030 aplicable para ambas alternativas. En el sistema de paneles sándwich se tiene una deflexión máxima del 12.56% de la deflexión admisible en la cobertura y 19.12% en la plataforma; en tanto que, en el sistema de entramados de madera se tiene una deflexión máxima del 29.71% de la deflexión admisible en la cobertura y 4.76% en la plataforma.

Los materiales empleados en la fabricación de los MTV permiten alcanzar un nivel de confort térmico que satisface lo dispuesto en la norma técnica EM.110. Los componentes del sistema de paneles sándwich (muros, techo y plataforma) presentan un nivel confort térmico ligeramente mayor, que el otorgado por el sistema de entramados de madera, debido a que el poliestireno expandido posee un coeficiente de conductividad térmica (0.033 W/m. K) menor que el de la lana de vidrio (0.043 W/m. K), lo cual se traduce en mejores características de aislación térmica.

En adición a ello, el costo directo por metro cuadrado de la fabricación de los MTV resulta económico al compararse con otras soluciones para la vivienda de emergencia. El costo de producción por unidad de un módulo temporal de vivienda en base al sistema de paneles sándwich es de S/. 7 541.99, en tanto que el monto asciende a S/. 7 465.05 para el sistema de entramados de madera, montos que no incluyen los impuestos de ley aplicables.

Cuando la ubicación y el alcance del proyecto permita prescindir de la consideración de plataformas para la habilitación de un MTV, el costo por m² que representa la fabricación, armado y montaje será de S/364.43 para el sistema de paneles sándwich, y de S/. 308.22 para el sistema de entramados de madera. Esta similitud permite que ambas alternativas puedan considerarse en simultáneo en los procesos de adquisición y suministro a fin de cubrir la demanda de vivienda en situaciones de emergencia.

Debido a la carencia de una norma técnica de diseño especializada en paneles sándwich, el diseño estructural fue realizado sobre la base de la norma técnica E.090 Estructuras Metálicas, comprobándose que las combinaciones de carga en las cuales intervienen los efectos de viento, arrojan los máximos esfuerzos actuantes de flexión, compresión y corte, verificándose que la relación esfuerzo actuante – esfuerzo admisible no supera el 85% en ningún caso.

En el caso específico de la madera, se deben diferenciar las consideraciones de análisis estructural de las consideraciones de diseño, dadas que estas últimas están en función de las propiedades mecánicas del material, siendo muy distintas las propiedades de los tipos de madera que se pueden encontrar en Sudamérica respecto a las de Europa. En ese sentido el diseño estructural del sistema de entramados de madera fue realizado bajo los parámetros establecidos en la norma técnica E.010 Madera, comprobándose que las combinaciones de carga en las cuales interviene los efectos de viento, arrojan los máximos esfuerzos actuantes de flexión, compresión y corte, observándose que la relación esfuerzo actuante – esfuerzo admisible no supera el 80%.

La relación entre el comportamiento estructural y el costo, en función del área habitable deberá ser tomado en cuenta para futuros estudios, dado que el área considerada en la presente investigación podría resultar insuficiente y/o no aplicable en otras zonas del país.

CAPITULO 7 :

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

El comportamiento estructural frente a cargas laterales y de gravedad, así como el nivel de confort térmico de las alternativas evaluadas para la fabricación de módulos temporales de vivienda satisfacen los lineamientos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Las conclusiones específicas se presentan a continuación:

7.1.1. Del Análisis y Diseño Estructural

- a) Ambos sistemas constructivos tienen periodos fundamentales de vibración cortos en las direcciones principales X e Y, con valores cercanos al 40% del valor estimado según la norma técnica E.030.
- b) Debido al que ambas alternativas presentan periodos fundamentales cortos, para el diseño se consideran los valores máximos de las fuerzas sísmicas elásticas de diseño, de acuerdo al espectro planteado en la norma técnica E.030
- c) El sistema de paneles sándwich tiene un peso estimado de 120.00 kg/m^2 , y el sistema de entramados de madera tiene un peso de 165.50 kg/m^2 , restringiendo los efectos de la acción sísmica, siendo la acción de viento la principal carga horizontal actuante sobre los MTV.
- d) El sistema de entramados de madera resulta más rígido que el sistema de paneles sándwich.
- e) Las deflexiones máximas y distorsiones calculadas para cada alternativa, se encuentran dentro de las tolerancias de las normas nacionales vigentes aplicables.
- f) Las combinaciones de carga en las cuales interviene los efectos de viento, arrojan los máximos esfuerzos actuantes de flexión, compresión y corte para cada alternativa.

7.1.2. Del Análisis de Confortabilidad Térmica

- a) El sistema de paneles sándwich presentan un mejor nivel confort térmico que el sistema de entramados de madera, cumpliendo ambos con las exigencias de la norma técnica EM.110. Esto permite que los usuarios experimenten una sensación térmica aceptable en un clima cálido y húmedo, evitando el uso de artefactos mecánicos.

7.1.3. Del Análisis Económico

- a) La diferencia en el costo de producción de un módulo temporal de vivienda entre ambos sistemas es de S/.76.94, es decir alrededor de 1% de su costo unitario.
- b) Los MTV fabricados sistema de paneles sándwich tienen un ciclo de producción de menor duración que el del sistema de entramados de madera.
- c) Sin la consideración de la plataforma, el costo por m² que representa la fabricación, armado y montaje de cada alternativa evaluada, se reduce en 13% para el sistema de paneles sándwich, y 26% en el sistema de entramados de madera.

7.2. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y las conclusiones, se recomienda lo siguiente:

- a) Ensayar a escala real las alternativas evaluadas para su homologación. Es necesario validar los resultados del análisis estructural de los modelos simplificados desarrollados en este trabajo de investigación, particularmente en el comportamiento local de sus elementos.
- b) En futuras investigaciones, enfatizar los potenciales puentes térmicos que pueden generarse en los elementos o materiales de los sistemas constructivos evaluados; asimismo, se deberá analizar los efectos de condensación por humedad en la superficie interior de sus componentes constructivos que puedan deteriorar o degradar sus condiciones de servicio.
- c) Puesto que la normativa nacional tiene un alcance limitado respecto a las recomendaciones para el análisis y diseño en sistemas constructivos no convencionales tales como los evaluados, es necesario que las entidades públicas correspondientes emitan normativas regulatorias, para promover y difundir los sistemas expuestos en la presente investigación.
- d) Las dimensiones referenciales en planta establecidas para los MTV deben ser flexibles y no restrictivas, a fin de que cada alternativa pueda plantearse en base a su mayor optimización de recursos y fuerza de trabajo. En esta investigación, las consideraciones tomadas para cada modulación han sido idénticas a fin de realizar un comparativo bajo las mismas condiciones, sin embargo, es recomendable realizar la modulación en base al ancho y altura del panel estándar característico de cada sistema constructivo.
- e) Discutir la creación de un sistema nacional de vivienda de emergencia, capaz de centralizar y ejecutar acciones coordinadas para la atención de poblaciones afectadas por desastres, que permita su reubicación a través de una solución temporal como un módulo de vivienda u otra para combatir el déficit habitacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abascal, E. (2017). *Vivienda para Situaciones de Emergencia. Sistematización de un Procedimiento para la Actuación en Situaciones de Emergencia*. Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.
- AITIM. (1995). *Casas de Madera. Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.
- Albala, H. (2016). Resistencia de Paneles de Madera a Cargas Horizontales. *IDIEM*, 3, 185-201. Obtenido de <https://revistaidiem.uchile.cl/index.php/RIDIEM/article/view/38329>
- Almeida de Araujo, V., Cortez-Barbosa, J., Nivaldo García, J., Gava, M., Laroca, C., & Fábio César, S. (2016). Woodframe: light framing houses for developing countries. *Revista de la Construcción*, 15(2), 78-87.
- ANAPE. (1992). *Catálogo general del poliestireno expandido EPS. Proceso de fabricación, aplicaciones, aspectos mediambientales, normativa y productos*. Madrid: Asociación Nacional de Poliestireno Expandido.
- Anders, G. C. (2007). *Abrigos temporários de crater emergencial*. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo.
- Asociación Esfera. (2018). *Manual Esfera: Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria* (Cuarta Edición ed.). Ginebra, Suiza.
- Bender, R. (1976). *Una Visión de la Construcción Industrializada*. (Á. Robira Llobera, Trad.) Barcelona: Gustavo Gilli.
- CAF. (2000). Las lecciones de El Niño. En *El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, Retos y Soluciones*. (Vol. V: Perú, pág. 289). Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Cansario, P. M. (2005). *Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: Estudio Estructural y Optimización*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- CARE Perú. (2013). *Sistematización de la Experiencia del Componente Viviendas Temporales del Proyecto FOCAPREE*. Lima.
- Davies, J. (2001). *Lightweight Sandwich Construction*. Manchester: Blackwell Science.

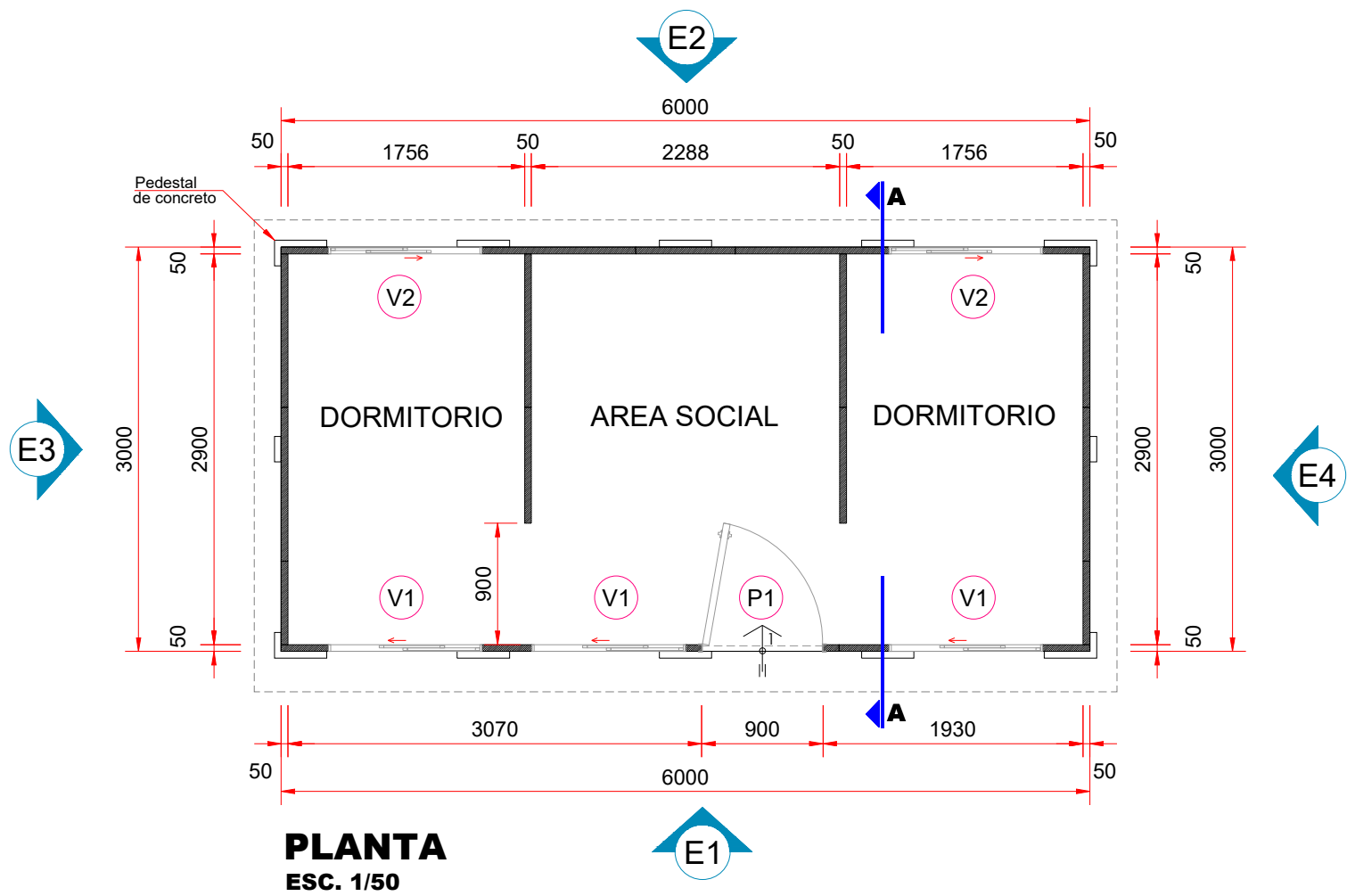
- E.010 Madera. (2014). En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE*. Lima, Lima, Perú: DS N°005-2014-VIVIENDA.
- E.020 Cargas. (2006). En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE*.
- E.030 Diseño Sismorresistente. (2018). En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética. (2014). En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Fernández Forcada, M. (2015). *La Madera Contralaminada como Alternativa en Sistemas de Baja Energía Estructural*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Fernández, J. (1974). *Prefabricación, teoría y práctica, Seminario de Prefabricación*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Ferradas, P. (2000). *El Fenómeno "El Niño" y los desastres: enfoque y estrategias*. Lima: Seminario Permanente de Investigación Agraria (Sepia) / Centro de Estudios y Prevención de Desastres (Predes) / Lutheran World Relief.
- Fontana Cabezas, J. J., Laurino Castiglioni, P. G., Vila Rivero, M. V., & Botti Azambuya, L. A. (2014). Viviendas de Emergencia en Uruguay. *Revista de Arquitectura*, 16, 48-57. doi:10.14718/RevArq.2014.16.6
- Franco, E. (2006). *"El Niño" en el Perú: Viejos y Nuevos Temas*. Lima: Programa de Desastres, ITDG - Oficina Regional para América Latina.
- French, A., & Mechler, R. (2017). *Managing El Niño Risk Under Uncertainty in Peru: Learning from the past for a more disaster-resilient future*. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Galarza, E., & Kámiche, J. (2012). *INFORME TÉCNICO 1. Impactos del Fenómeno El Niño (FEN) sobre la economía regional de Piura, Lambayeque y La Libertad*. Lima: Cooperación Alemana al Desarrollo - Agencia de la GIZ en el Perú.
- Galvinfo. (2007). *Planchas de Acero con Recubrimiento Metálico Prepintadas para Paneles de Construcción - Garantía de un Buen Comportamiento*.
- ICESCR. (1966). *International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights*. Asamblea General de las Naciones Unidas.
- IDAE. (2008). *Soluciones de Aislamiento con Lana Mineral*. Madrid.

- INDECI. (2009). *Lecciones aprendidas del sur, sismo de Pisco del 15 de agosto del 2007*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI. (2017). Obtenido de www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MjE0NQ==/20170817171954.pdf el 17 de Agosto del 2017
- INDECI. (2018). *Fortaleciendo la respuesta ante desastres en el Perú: Lecciones Aprendidas del Fenómeno El Niño Costero 2017 en el Perú*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INSTRON. (s.f.). *Glosario de Términos de Ensayos y Materiales*. Obtenido de <http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary>
- JUNAC. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. LIMA: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Laboratorio de Estructuras CISMID. (2009). *ENSAYOS ESTRUCTURALES AL SISTEMA MODULAR NEXCOM*. LIMA.
- Lacourt, P., Crisafulli, F., & Mirasso, A. (2014). Modelación Numérica de Uniones Clavadas de Madera Capaces de Disipar Energía. *23 Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*. Buenos Aires: Asociación de Ingenieros Estructurales - Argentina.
- López Manriquez, G. R. (2002). *Correlación entre métodos analíticos y numéricos para el cálculo de vigas y paneles de estructuras tipo Sándwich*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Medina Gómez, A. M. (2016). *Caracterización de Paneles Tipo Sándwich con Núcleo de Poliuretano Expandido de Industrias Isotex*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Mirzapour, Asad, Behesty, & Mohammad, H. (2005). *The response of sandwich panels with rigid polyurethane foam cores under flexural loading*. . Tehran: Iranian Polymer Journal .
- ONEMI. (2017). *Requerimientos Técnicos Mínimos para la Vivienda de Emergencia*. Oficina Nacional de Emergencia. Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
- Padilla Ramírez, A., Alvarez Gómez, J. A., & Panamá Armendariz, I. (2014). *Desarrollo de Paneles Tipo Sándwich*. Puerto Vallarta, Jalisco: XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.
- Robles Romero, A. L., & Castillo Castillo, G. D. (2005). *Modelación de un sistema estructural prefabricado de bajo peso sometido a cargas sísmicas para la construcción de viviendas*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Rocha Felices, A. (2007). "El Niño": ¿Un Desastre o un Fenómeno? (C. d. Perú, Ed.) *PUENTE*.

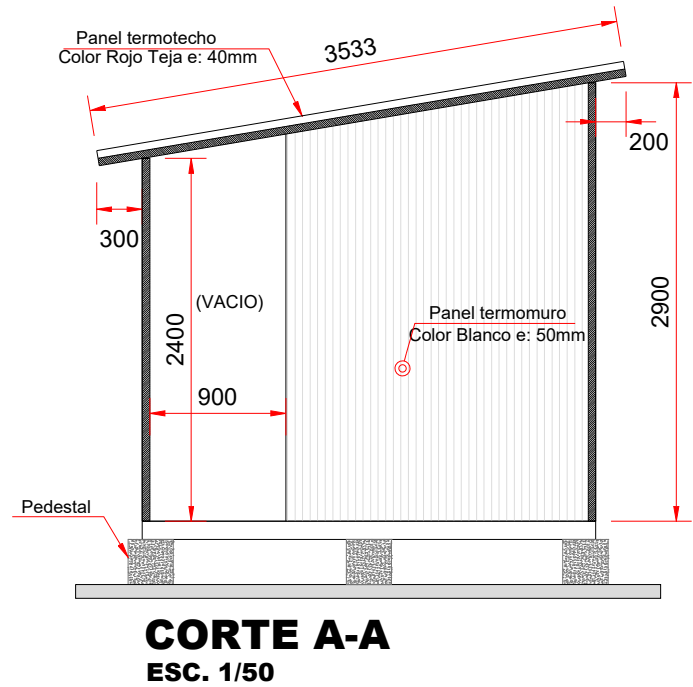
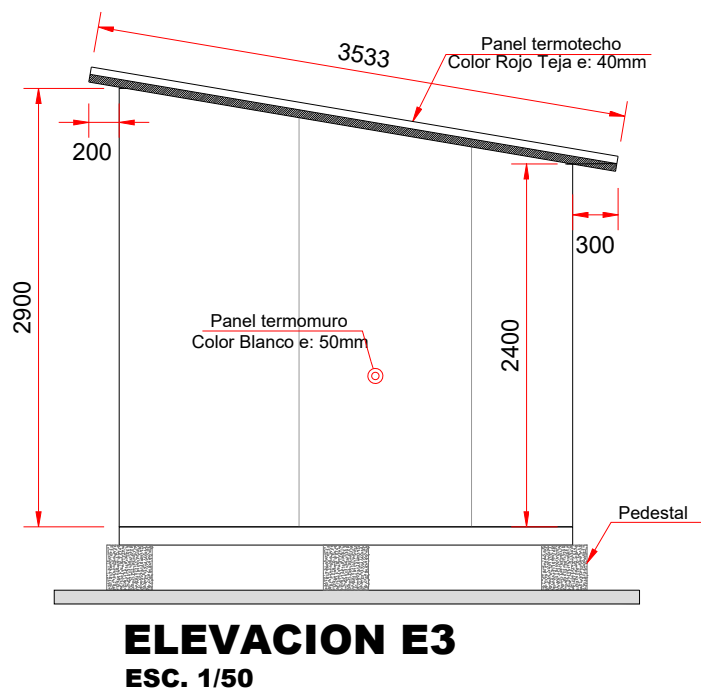
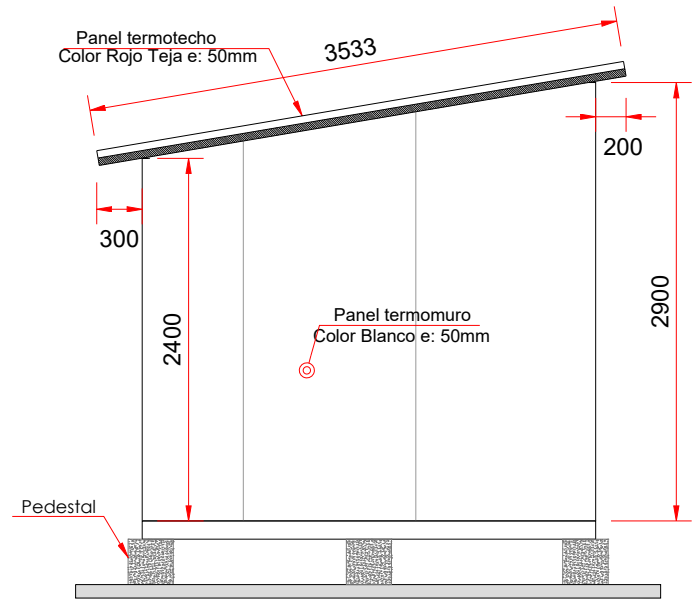
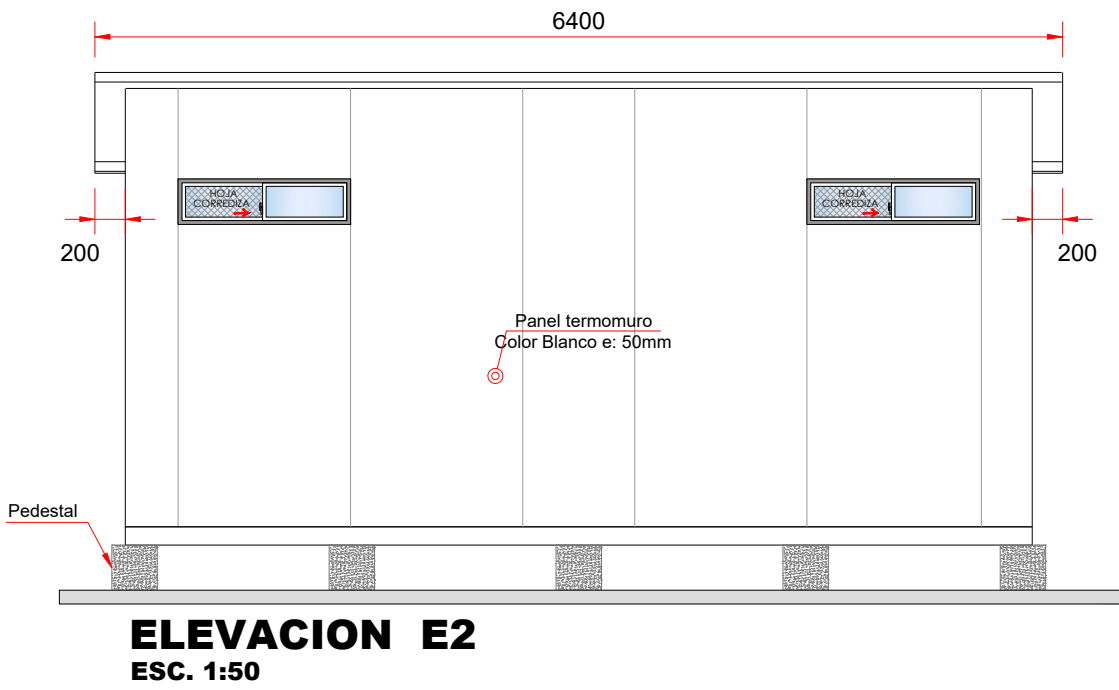
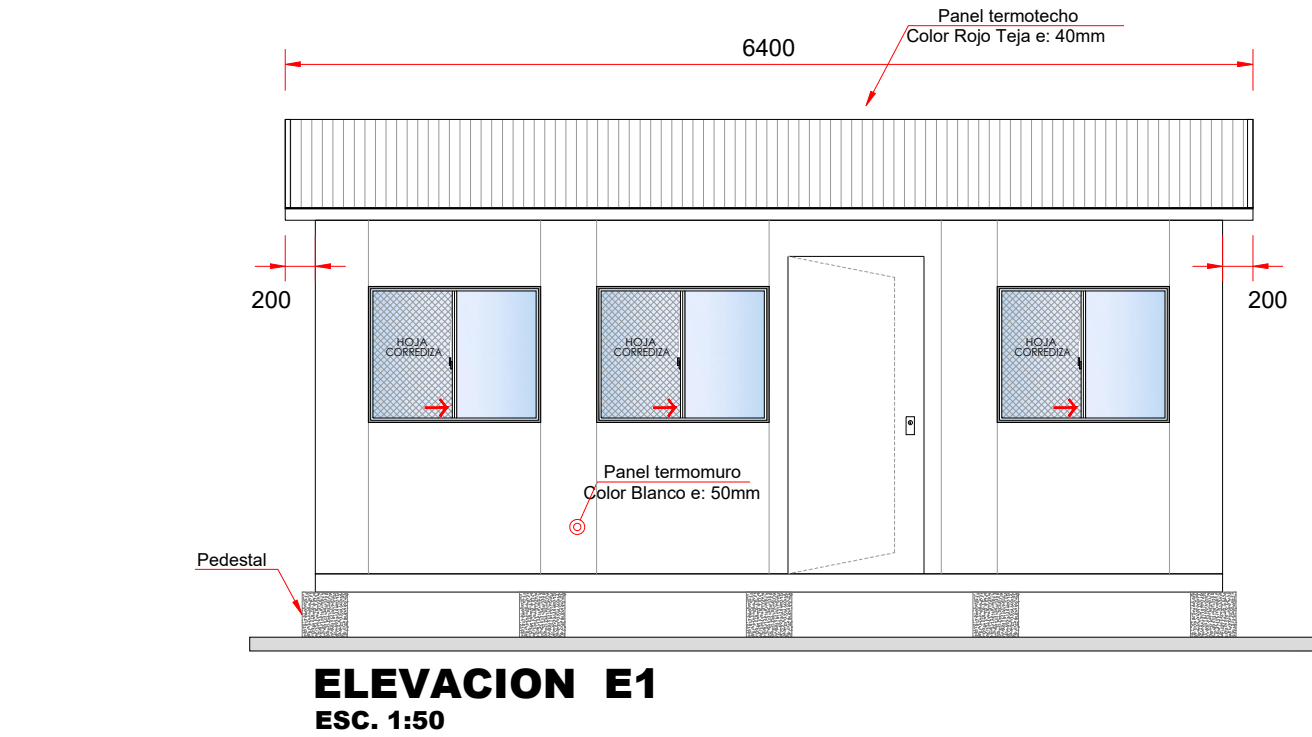
- San Hipólito, F. (2014). Análisis Estructural y Optimización del Entramado Ligerero.
- SE-M Seguridad Estructural Madera. (2009). En Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación*. Madrid: Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo.
- SENAMHI. (2014). *El Fenómeno El Niño en el Perú*. Lima: Dirección General de Meteorología - Dirección de Climatología.
- SINPAD, S. d. (2017). *Reporte de Situación - 17 de mayo del 2017*. Lima. Obtenido de <http://sinpad.indec.gov.pe/sinpadweb/>
- Tozzi, M., & Calderón, H. (2012). *Lecciones Aprendidas Loreto. Intervención frente a la emergencia por inundaciones en Loreto en el año 2012*. INDECI, Gobierno Regional de Loreto, COOPI, OCHA, IFCR, FAO.
- University of Winsconsin. (1996). First International Emergency Settlement Conference. *New Approaches to New Realities*. Madison: University of Winsconsin. Disaster Management Center. Department of Engineering Professional Development.
- Venkateswaran, K., MacClune, K., & Enriquez, M. F. (2017). *El Niño Costero: The 2017 Floods in Peru*. Zurich Flood Resilience Alliance.

ANEXOS

Anexo A: Planos de Modulación



PLANTA DE TECHO
ESC. 1/50



CUADRO DE VANOS					
	CODIGO	CANTIDAD	ANCHO	ALTO	ALFEIZAR
PUERTAS					PUERTA CON PANEL DE 50MM
	P1	01	0.90	2.10	0.00
					Nº DE HOJAS: 01 CERRADURA: CHAPA DE 01 GOLPE GIRO: BATIENTE
VENTANAS					MARCO DE ALUMINIO Y VIDRIO CRUDO DE 6mm
	V1	03	1.14	0.90	1.00
	V2	02	1.14	0.30	2.00

CUADRO DE ACABADOS Y ESPECIFICACIONES			
	ELEMENTO	ZONA	DESCRIPCION
			ACABADO
INTERIOR	PISOS	TODOS LOS AMBIENTES	TRIPLAY FENÓLICO CON RECUBRIMIENTO PROTECTOR
	CONTRAZOCALOS	TODOS LOS AMBIENTES	METÁLICO
	MUROS	DIVISION INTERIOR	TERMOMURO 50 mm PINTURA COLOR BLANCO
		PERIMETRO	TERMOMURO 50 mm PINTURA COLOR BLANCO
	TECHO	CIELORRASO	TERMOMURO 50 mm PINTURA COLOR BLANCO
	ACCESORIOS	TODOS LOS AMBIENTES	ACCESORIOS METÁLICOS PINTURA COLOR BLANCO
EXTERIOR	CONTRAZOCALOS	PERIMETRO	METÁLICO
	MUROS	PERIMETRO	TERMOMURO 50 mm PINTURA COLOR BLANCO
	TECHO	CUBIERTA	TERMOMURO 50 mm PINTURA COLOR BLANCO
	ACCESORIOS	MURO - TECHO	ACCESORIOS METÁLICOS PINTURA COLOR BLANCO
		CUBIERTA	ACCESORIOS METÁLICOS PINTURA COLOR BLANCO
	PEDESTALES	PERIMETRO	PEDESTAL DE CONCRETO



TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. ESTE PLANO ES CONFIDENCIAL Y/O PROPIEDAD CONFIDENCIAL DE LOS AUTORES Y ES CEDIDO BAJO ESTRUCTA CONFIDENCIALIDAD POR LO QUE NO DEBERÁ SER UTILIZADO Y/O REPRODUCIDO PARA NINGÚN OTRO PROPÓSITO PARA EL CUAL FUE CEDIDO. ESTE DEBERÁ SER INMEDIATAMENTE DEVUELTO BAJO PEDIDO, Y ESTÁ SUJETO A TODOS LOS DEMÁS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE CUALQUIER ACUERDO ESCRITO CON LA INCORPORACIÓN DE TODO LO RELACIONADO A ESTE DOCUMENTO.

PROYECTO:
"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

DESCRIPCION:
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

DIBUJADO POR:
JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

REVISADO POR:
JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

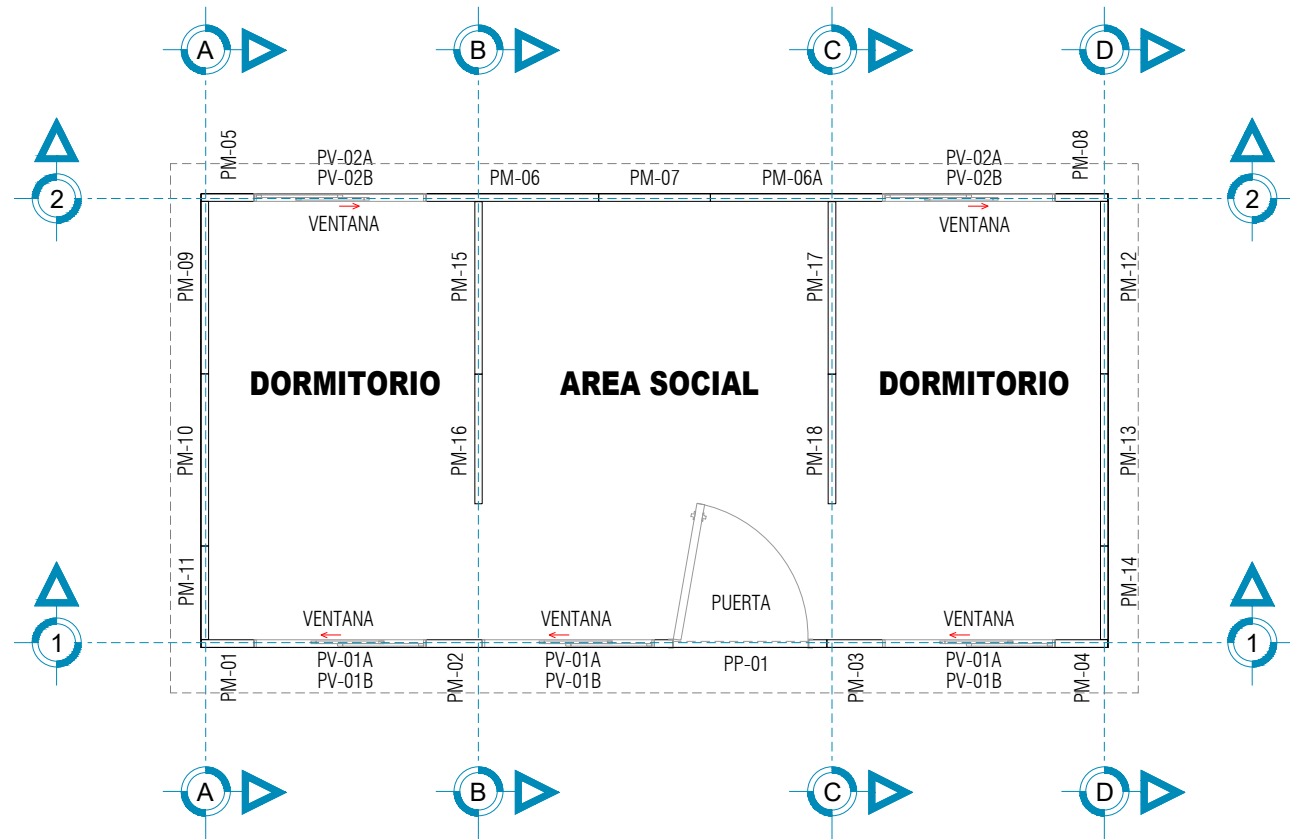
APROBADO POR:

ESPECIALIDAD:
ARQUITECTURA

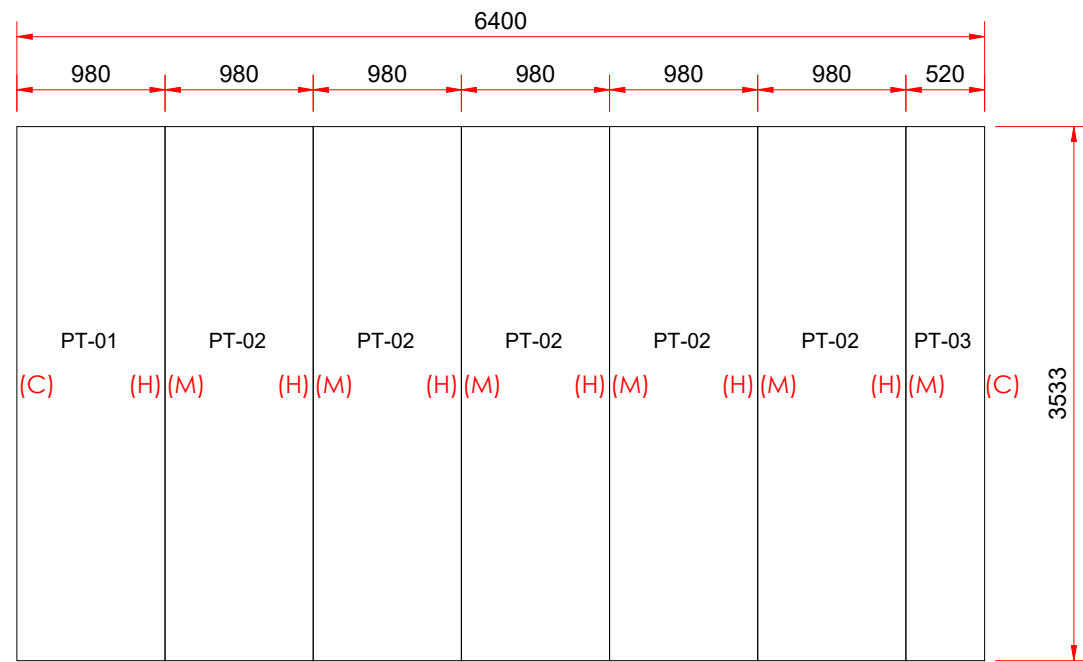
TIPOLOGÍA:
SISTEMA DE PANELES SANDWICH

DESCRIPCION:
PLANO DE PLANTA

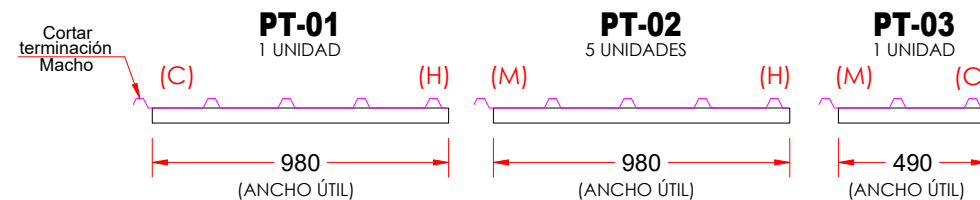
ESCALA: 1:50	LÁMINA: PS-01
FECHA: ABRIL 2019	
REVISIÓN: A	



PLANTA DE MODULACI3N
ESC. 1/50

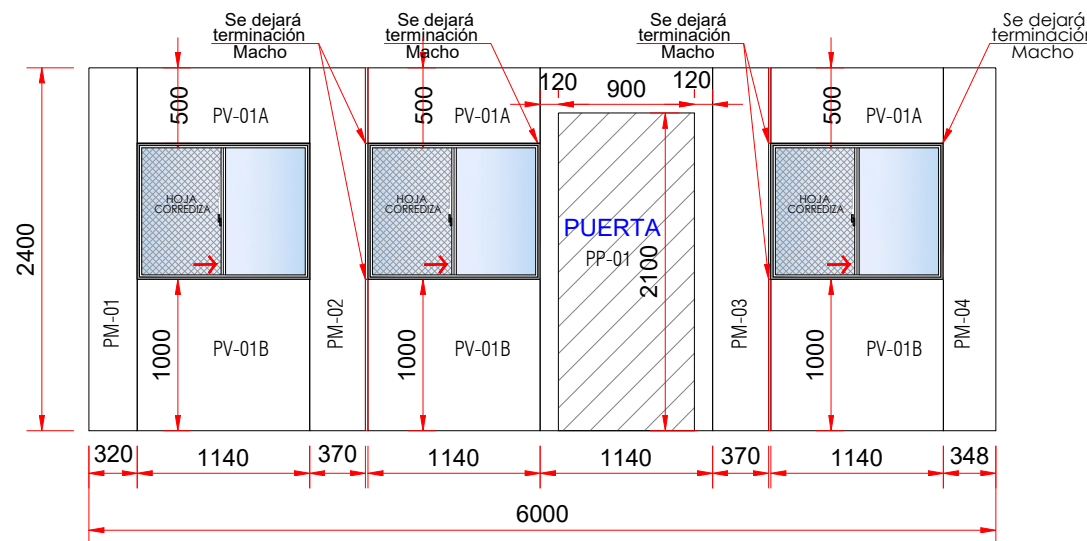


DISTRIBUCI3N DE PANELES TECHO
ESC. 1/50

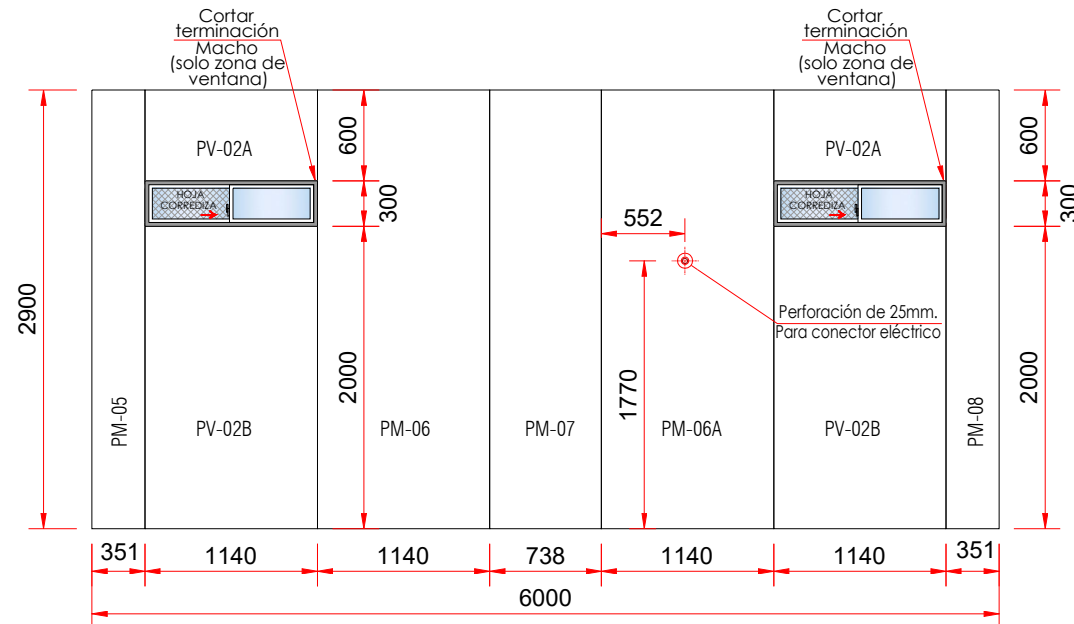


DETALLE DE PANELES DE TECHO
ESC. 1/25

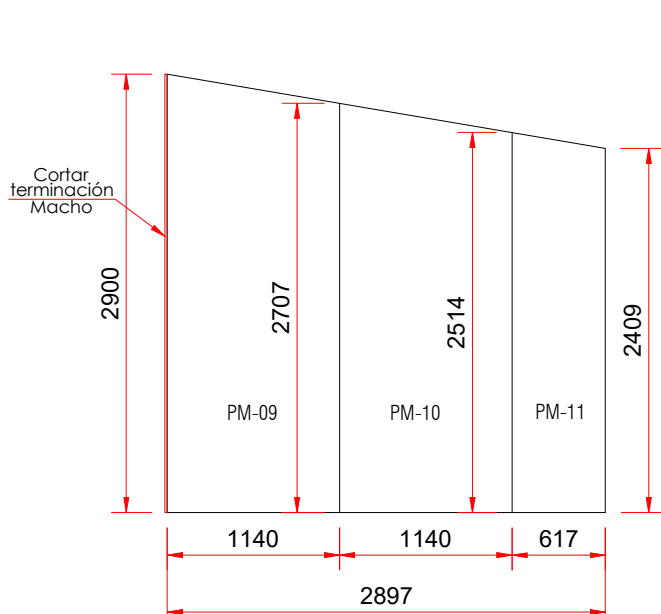
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE ELEMENTOS DE MODULACI3N								
PANELES TIPO MURO								
ITEM	CODIGO	CANT.	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	ESPESOR (mm)	UBICACION	VANO	COMENTARIOS
01	PM-01	01	320	2 400	50.00	EJE 1	-	Solo Hembra
02	PV-01A	03	1 140	500	50.00	EJE 1	V-01	Machihembrado
03	PV-01B	03	1 140	1 000	50.00	EJE 1	V-01	Machihembrado
04	PM-02	01	370	2 400	50.00	EJE 1	-	Ciego
05	PP-01	01	1 140	2 400	50.00	EJE 1	P-01	Machihembrado
06	PM-03	01	370	2 400	50.00	EJE 1	-	Solo Macho
07	PM-04	01	348	2 400	50.00	EJE 1	-	Solo Macho
08	PM-05	01	351	2 900	50.00	EJE 2	-	Solo Hembra
09	PV-02A	02	1 140	600	50.00	EJE 2	V-02	Machihembrado
10	PV-02B	02	1 140	2 000	50.00	EJE 2	V-02	Machihembrado
11	PM-06	01	1 140	2 900	50.00	EJE 2	-	Machihembrado
12	PM-06A	01	1 140	2 900	50.00	EJE 2	-	Machihembrado
13	PM-07	01	738	2 900	50.00	EJE 2	-	Solo Hembra
14	PM-08	01	351	2 900	50.00	EJE 2	-	Solo Macho
15	PM-09	01	1 140	2 900 - 2 707	50.00	EJE A	-	Solo Hembra
16	PM-10	01	1 140	2 707 - 2 514	50.00	EJE A	-	Machihembrado
17	PM-11	01	617	2 514 - 2 409	50.00	EJE A	-	Solo Macho
18	PM-12	01	1 140	2 900 - 2 707	50.00	EJE D	-	Machihembrado
19	PM-13	01	1 140	2 707 - 2 514	50.00	EJE D	-	Machihembrado
20	PM-14	01	617	2 514 - 2 409	50.00	EJE D	-	Solo Hembra
21	PM-15	01	1 140	2 899 - 2 706	50.00	EJE B	-	Machihembrado
22	PM-16	01	857	2 706 - 2 561	50.00	EJE B	-	Solo Hembra
23	PM-17	01	1 140	2 899 - 2 706	50.00	EJE C	-	Machihembrado
24	PM-18	01	857	2 706 - 2 561	50.00	EJE C	-	Solo Macho
PANELES TIPO TECHO								
ITEM	CODIGO	CANT.	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	ESPESOR (mm)	UBICACION	VANO	COMENTARIOS
25	TE-01	01	980	3 533	50.00	TECHO	-	Machihembrado
26	TE-02	05	980	3 533	50.00	TECHO	-	Machihembrado
27	TE-03	01	520	3 533	50.00	TECHO	-	Solo Macho



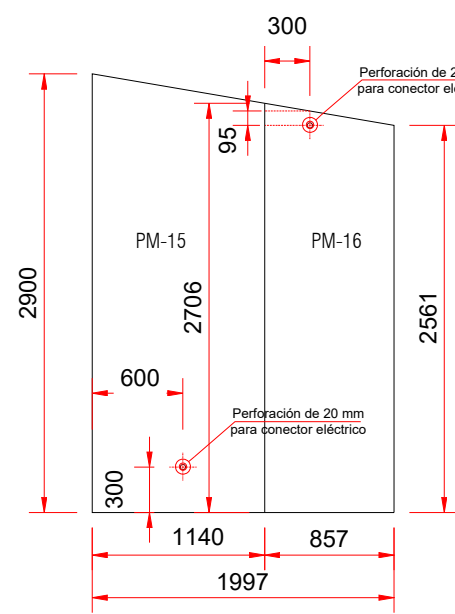
ELEVACI3N EJE 1
ESC. 1/50



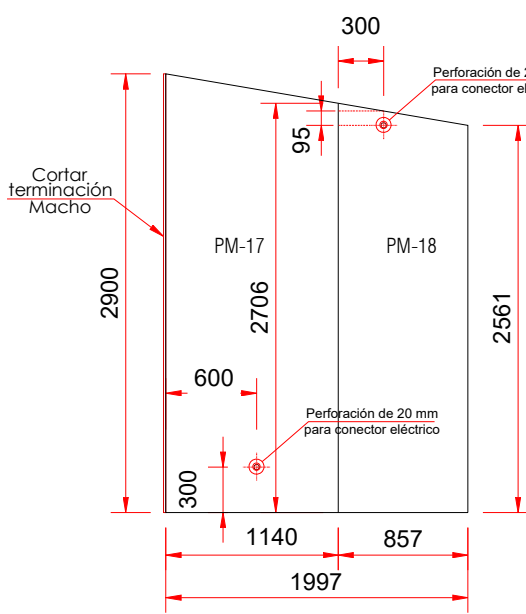
ELEVACI3N EJE 2
ESC. 1/50



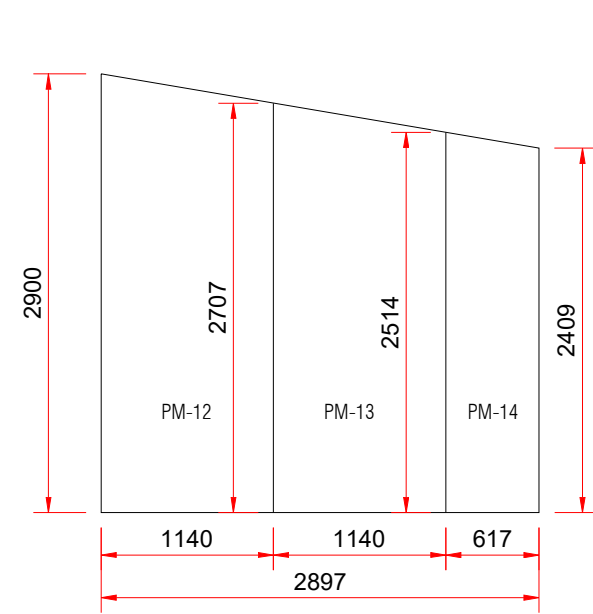
ELEVACI3N EJE A
ESC. 1/50



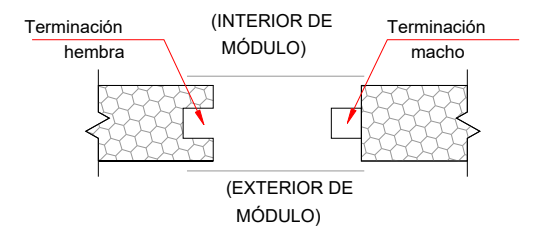
ELEV. EJE B
ESC. 1/50



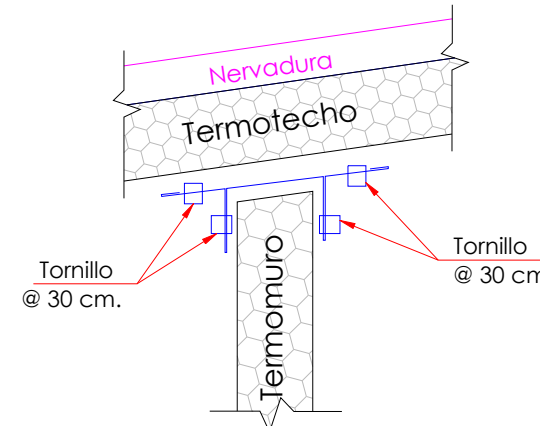
ELEV. EJE C
ESC. 1/50



ELEVACI3N EJE D
ESC. 1/50



DETALLE DE UNI3N MACHIHEMBRADA
ESC. 1/10



DETALLE DE UNI3N TECHO - MURO
ESC. 1/10



UNMSM
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Per3. Decana de Am3rica.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. ESTE PLANO ES CONFIDENCIAL Y/O PROPIEDAD CONFIDENCIAL DE LOS AUTORES Y ES CEDIDO BAJO ESTRICTA CONFIDENCIALIDAD POR LO QUE NO DEBERÁ SER UTILIZADO Y/O REPRODUCIDO PARA NINGUN OTRO PROP3SITO PARA EL CUAL FUE CEDIDO. ESTE DEBERÁ SER INMEDIATAMENTE DEVUELTO BAJO PEDIDO, Y ESTÁ SUJETO A TODOS LOS DEMÁS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE CUALQUIER ACUERDO ESCRITO CON LA INCORPORACI3N DE TODO LO RELACIONADO A ESTE DOCUMENTO.

PROYECTO:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO M3DULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PER3"

DESCRIPCION:

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

DIBUJADO POR:

JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

REVISADO POR:

JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

APROBADO POR:

ESPECIALIDAD:

ARQUITECTURA

TIPOLOGÍA:

SISTEMA DE PANELES SANDWICH

DESCRIPCI3N:

PLANO DE MODULACI3N

ESCALA:

1:50

LÁMINA:

FECHA:

ABRIL 2019

REVISI3N:

A

PS-02



TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. ESTE PLANO ES CONFIDENCIAL Y/O PROPIEDAD CONFIDENCIAL DE LOS AUTORES Y ES CEDIDO BAJO ESTRUCTURA CONFIDENCIALIDAD POR LO QUE NO DEBERÁ SER UTILIZADO Y/O REPRODUCIDO PARA NINGUN OTRO PROPÓSITO PARA EL CUAL FUE CEDIDO. ESTE DEBERÁ SER INMEDIATAMENTE DEVUELTO BAJO PEDIDO, Y ESTÁ SUJETO A TODOS LOS DEMÁS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE CUALQUIER ACUERDO ESCRITO CON LA INCORPORACIÓN DE TODO LO RELACIONADO A ESTE DOCUMENTO.

PROYECTO:
"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

DESCRIPCION:
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

DIBUJADO POR:
JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

REVISADO POR:
JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

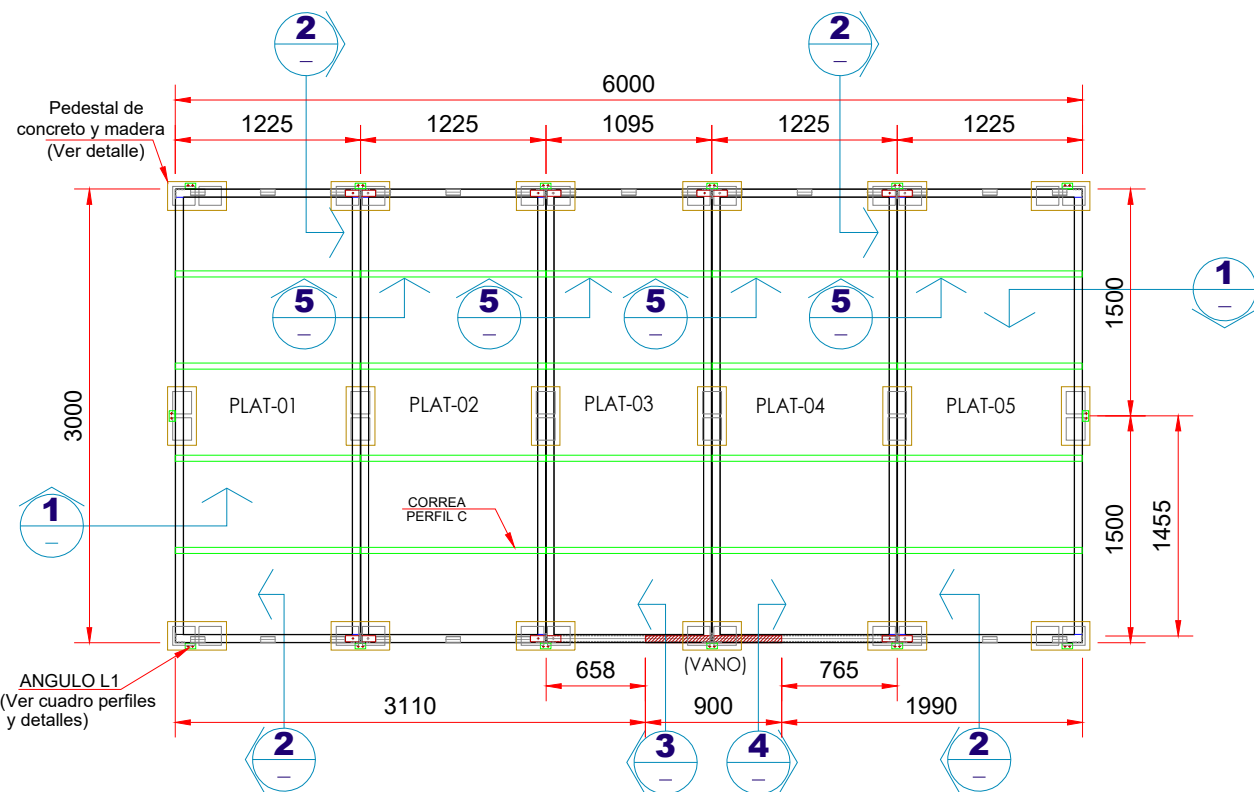
APROBADO POR:

ESPECIALIDAD:
ESTRUCTURAS

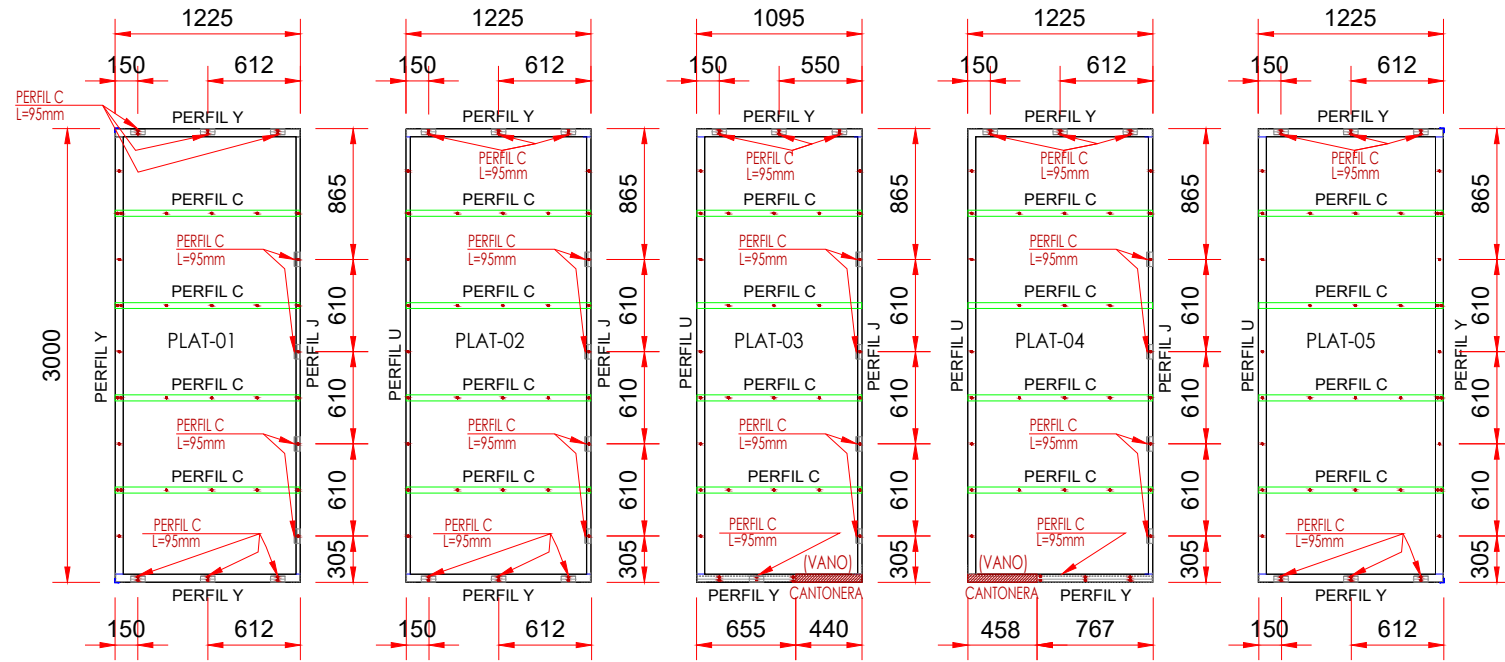
TIPOLOGÍA:
SISTEMA DE PANELES SANDWICH

DESCRIPCIÓN:
PLANO DE PLATAFORMA

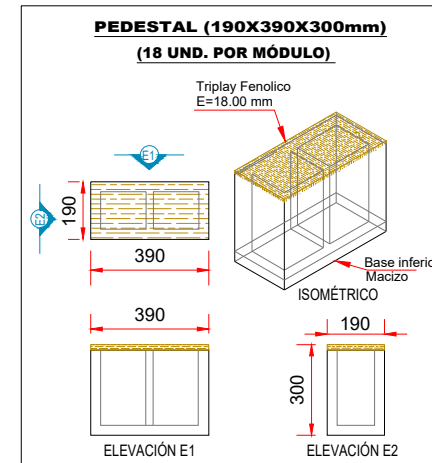
ESCALA: 1:50	LÁMINA: PS-03
FECHA: ABRIL 2019	
REVISIÓN: A	



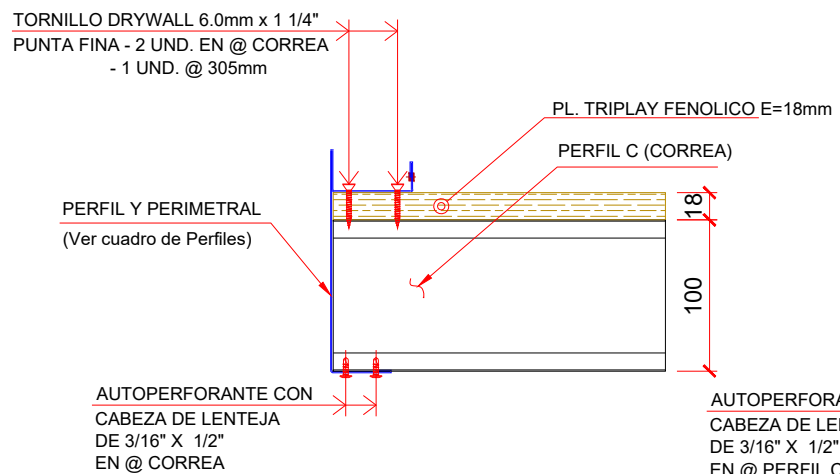
PLANTA DE PLATAFORMA DE PISO
ESC. 1/50



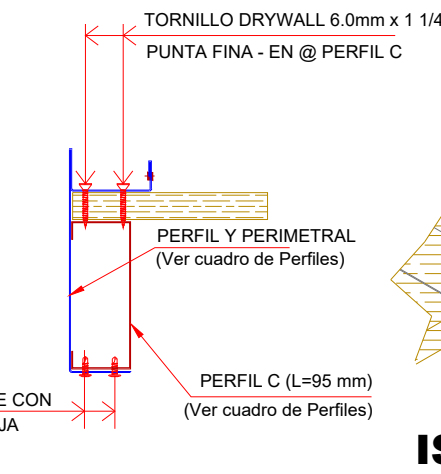
PLANTA DE PLATAFORMA DE PISO
ESC. 1/50



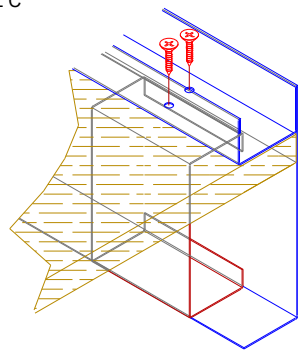
DETALLE PEDESTAL
ESC. 1/25



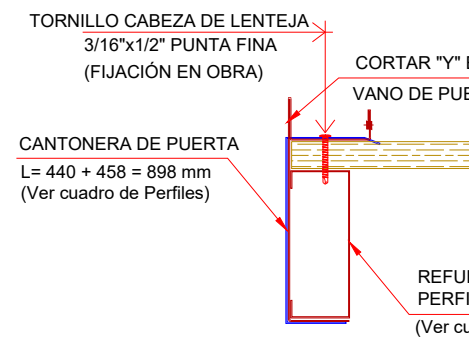
CORTE 1-1
ESC. 1/5



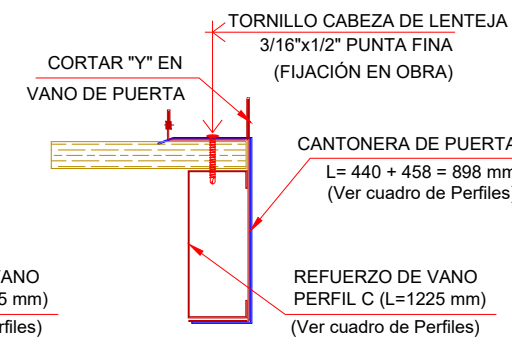
CORTE 2-2
ESC. 1/5



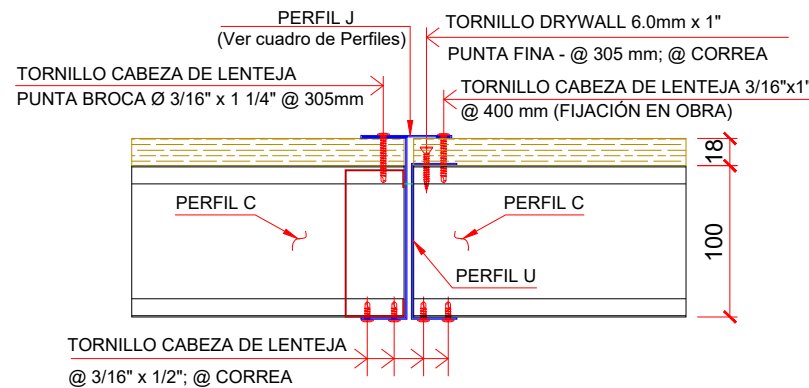
ISOMETRIA CORTE 2-2
ESC. 1/5



CORTE 3-3
ESC. 1/5

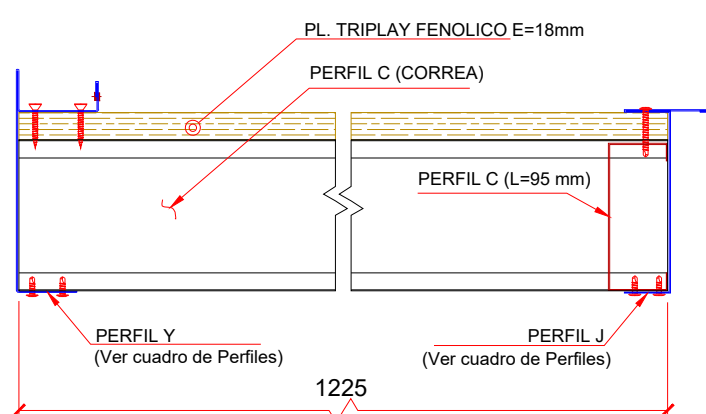


CORTE 4-4
ESC. 1/5

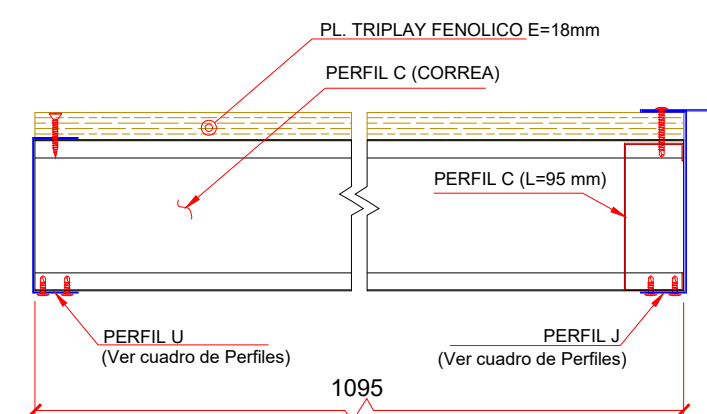


CORTE 5-5
ESC. 1/5

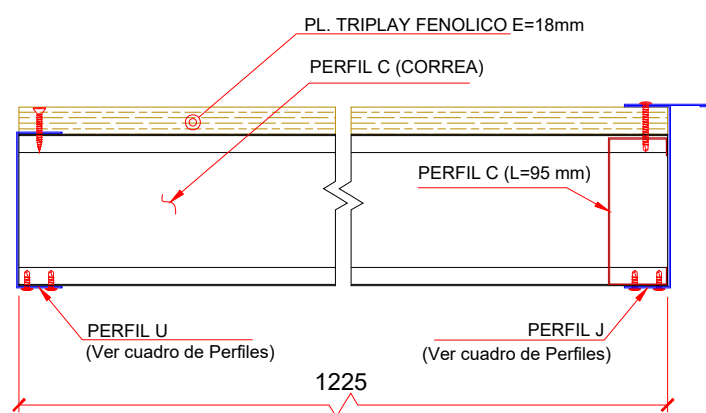
CUADRO DE PERFILES (ESC. 1/5)	
PERFIL Y (e=0.75 mm)	PERFIL J (e=0.75 mm)
PERFIL C (e=0.75 mm)	PERFIL U (e=0.75 mm)
CANTONERA (e=0.75 mm)	ÁNGULOS



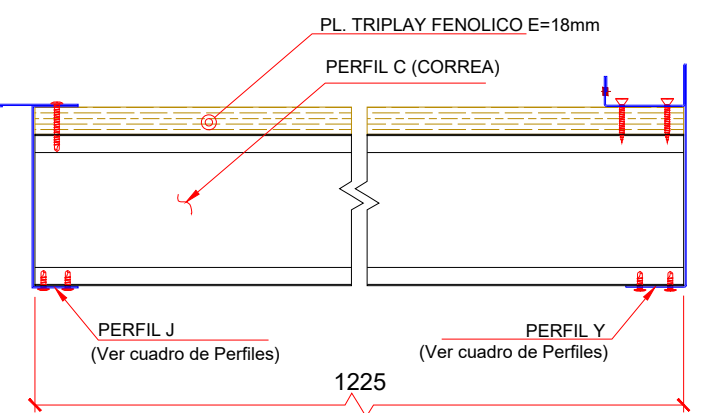
SECCIÓN PLATAFORMA 01
ESC. 1/5



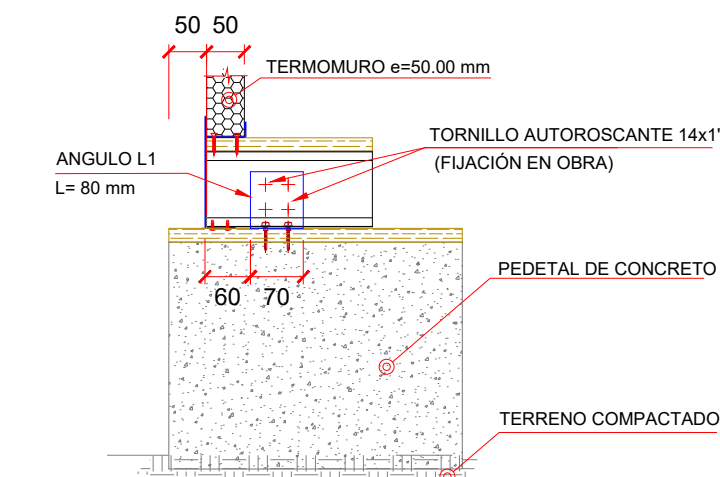
SECCIÓN PLATAFORMA 03
ESC. 1/5



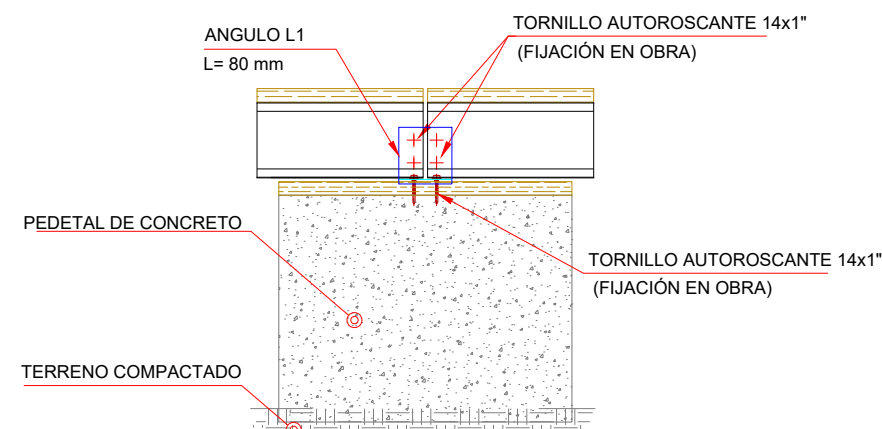
SECCIÓN PLATAFORMA 02
SECCIÓN PLATAFORMA 04
ESC. 1/5



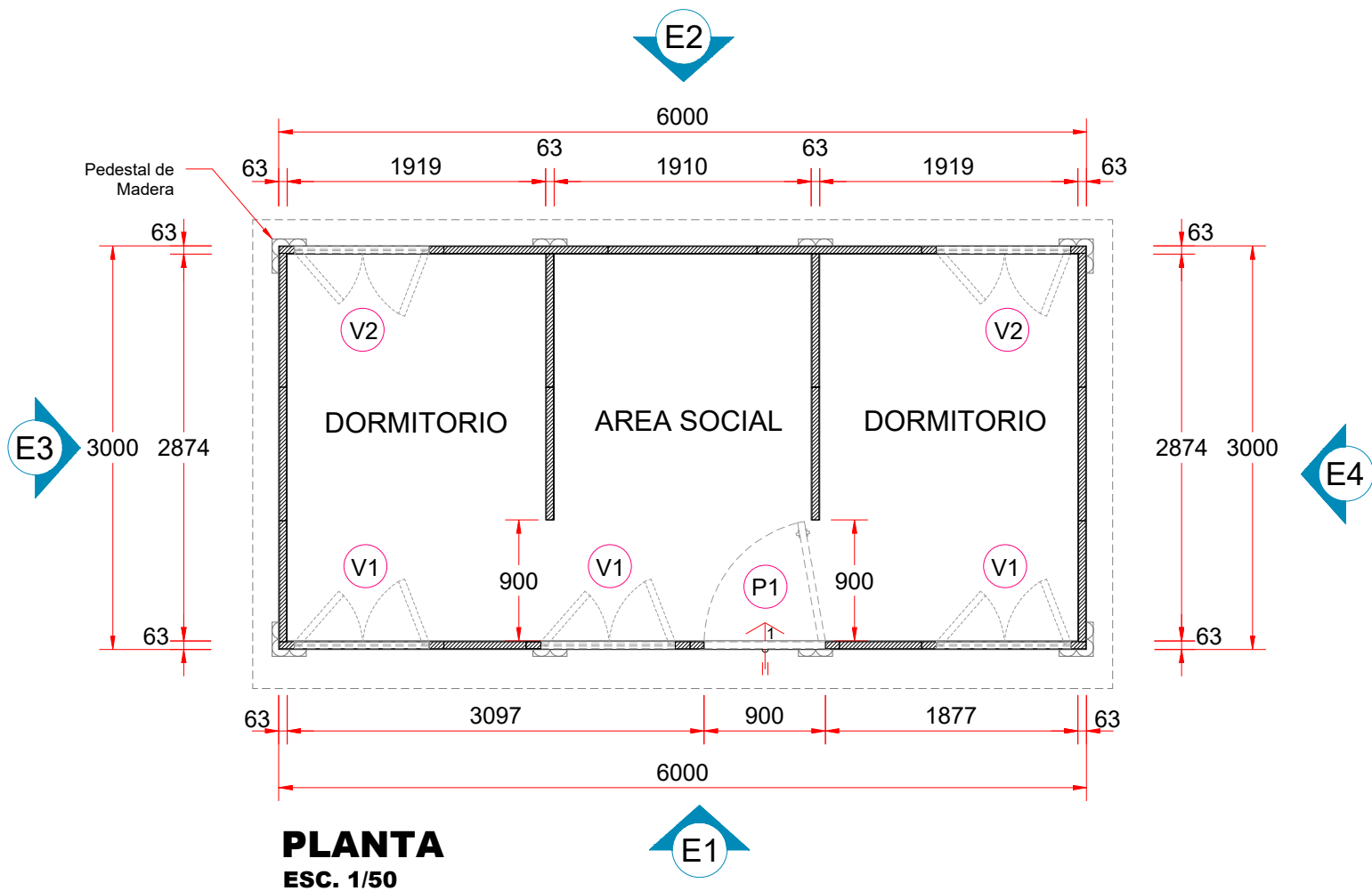
SECCIÓN PLATAFORMA 05
ESC. 1/5



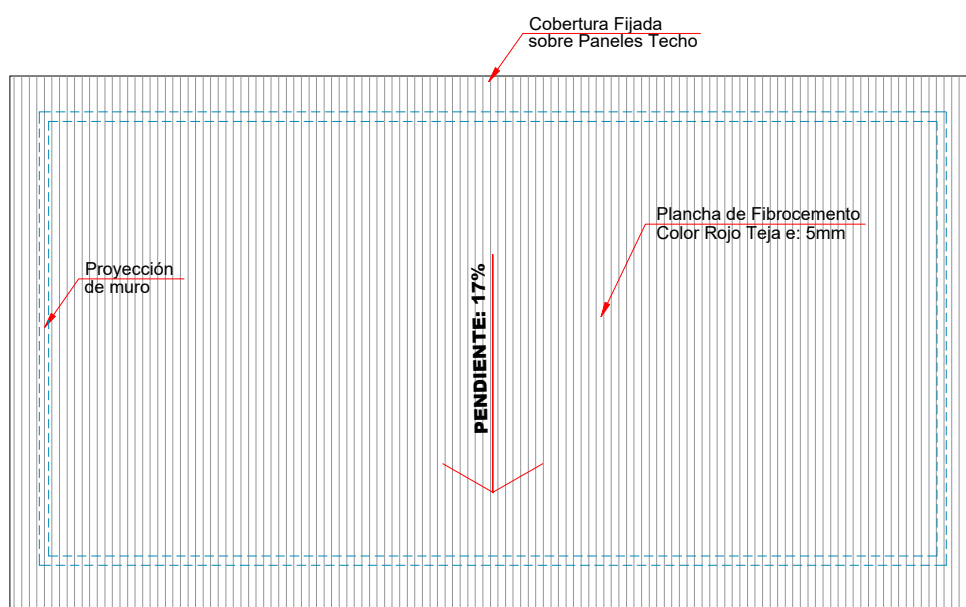
DETALLE UNIÓN PEDESTAL - PLATAFORMA - MURO
ESC. 1/10



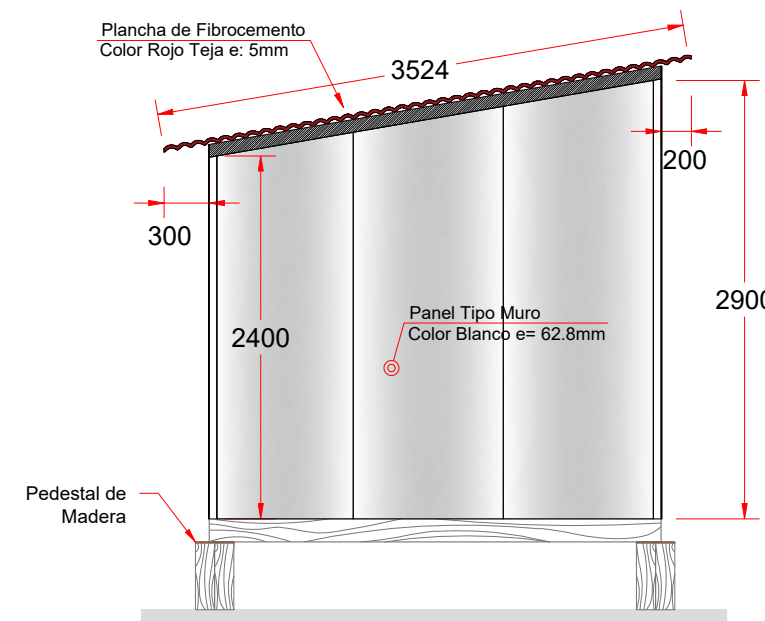
DETALLE UNIÓN PEDESTAL - PLATAFORMA - PLATAFORMA
ESC. 1/10



PLANTA
ESC. 1/50

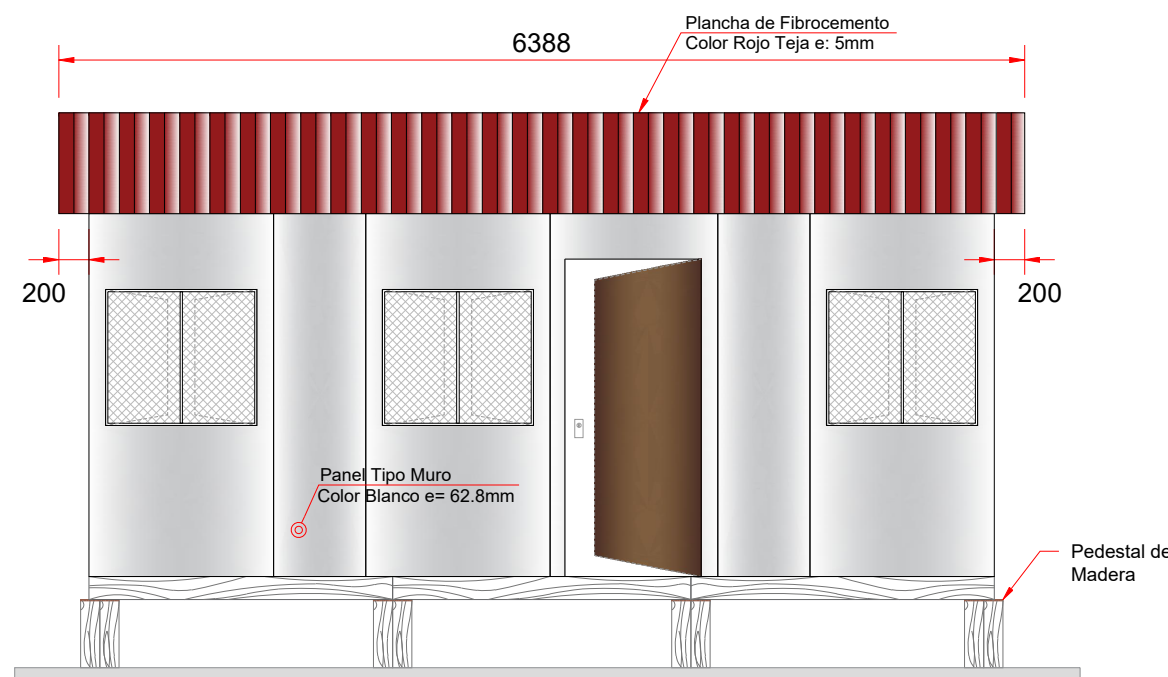


PLANTA DE TECHO
ESC. 1/50

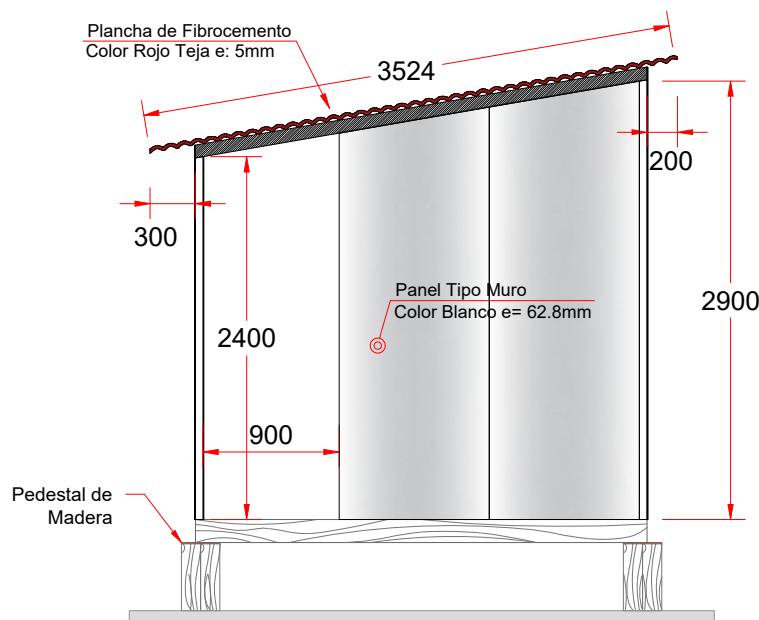


ELEVACION E4
ESC. 1/50

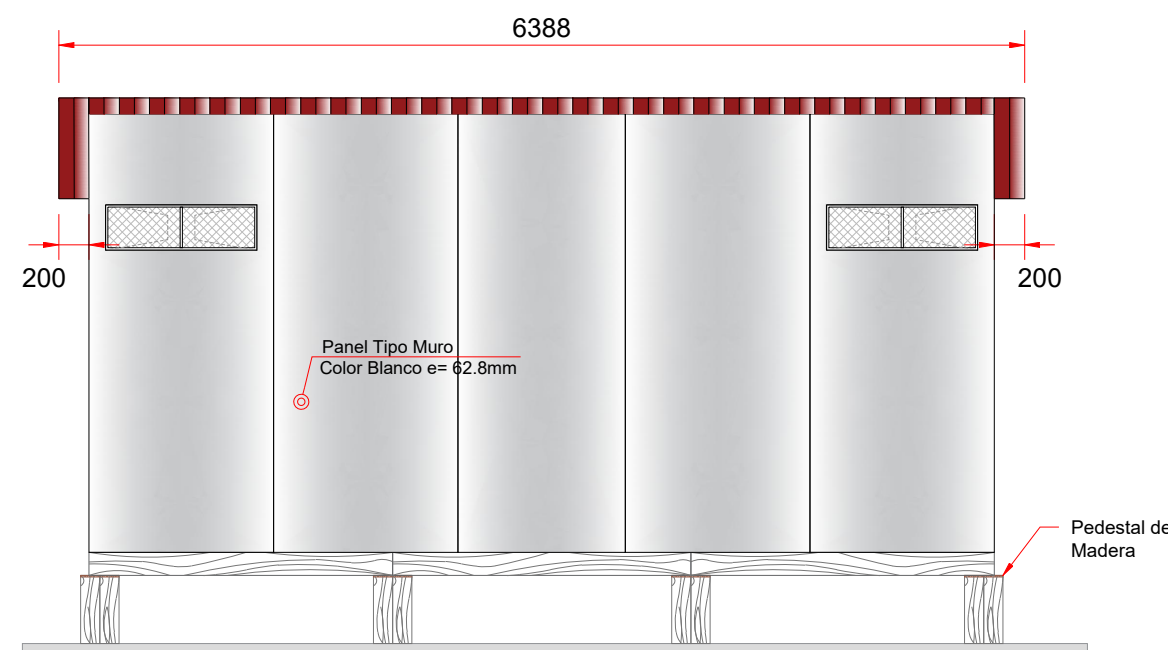
CANTIDADES Y ÁREAS		
DESCRIPCION	CANTIDAD	AREA CONSTRUIDA
MODULO TEMPORAL DE VIVIENDA 6.00 m X 3.00 m	01 UNID	18.00 m2
TOTAL	01 UNID	18.00 m2



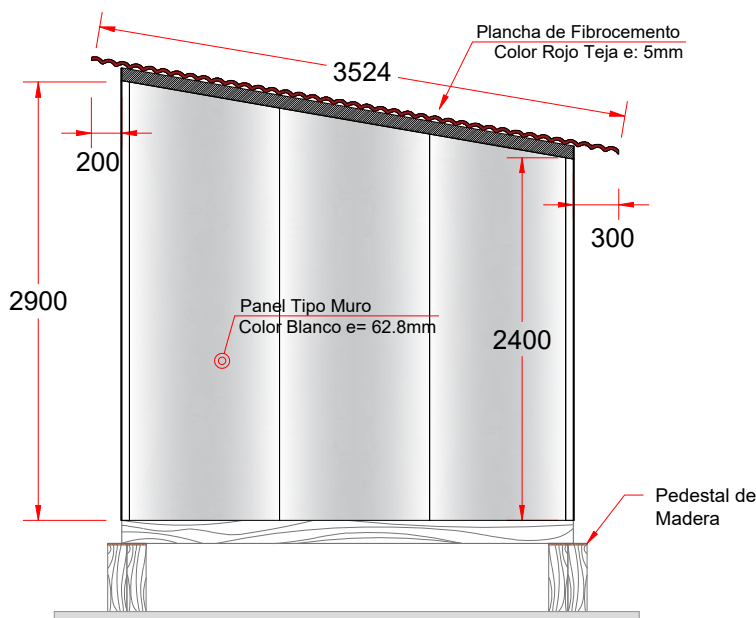
ELEVACION E1
ESC. 1/50



ELEVACION E4
ESC. 1/50



ELEVACION E2
ESC. 1:50



ELEVACION E3
ESC. 1/50

CUADRO DE VANOS					
	CODIGO	CANTIDAD	ANCHO	ALTO	ALFEIZAR
PUERTAS					
	P1	01	0.90	2.10	0.00
VENTANAS					
	V1	03	1.00	0.90	1.00
	V2	02	1.00	0.30	2.00

CUADRO DE ACABADOS Y ESPECIFICACIONES		
ELEMENTO	ZONA	DESCRIPCION
INTERIOR	PISOS	TODOS LOS AMBIENTES
	CONTRAZOCALOS	TODOS LOS AMBIENTES
	MUROS	DIVISION INTERIOR
	PERIMETRO	TECHO
	ACCESORIOS	TODOS LOS AMBIENTES
	CONTRAZOCALOS	PERIMETRO
EXTERIOR	MUROS	PERIMETRO
	TECHO	CUBIERTA
	ACCESORIOS	MURO - TECHO
	PEDESTALES	PERIMETRO



TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. ESTE PLANO ES CONFIDENCIAL Y/O PROPIEDAD CONFIDENCIAL DE LOS AUTORES Y ES CEDIDO BAJO ESTRUCTURA CONFIDENCIALIDAD POR LO QUE NO DEBERÁ SER UTILIZADO Y/O REPRODUCIDO PARA NINGÚN OTRO PROPÓSITO PARA EL CUAL FUE CEDIDO. ESTE DEBERÁ SER INMEDIATAMENTE DEVUELTO BAJO PEDIDO, Y ESTÁ SUJETO A TODOS LOS DEMÁS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE CUALQUIER ACUERDO ESCRITO CON LA INCORPORACIÓN DE TODO LO RELACIONADO A ESTE DOCUMENTO.

PROYECTO:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

DESCRIPCION:

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

DIBUJADO POR:

JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

REVISADO POR:

JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

APROBADO POR:

ESPECIALIDAD:

ARQUITECTURA

TIPOLOGÍA:

SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA Y FIBROCEMENTO

DESCRIPCIÓN:

DISTRIBUCION GENERAL, PLANTAS Y ELEVACIONES

ESCALA:

1:50

FECHA:

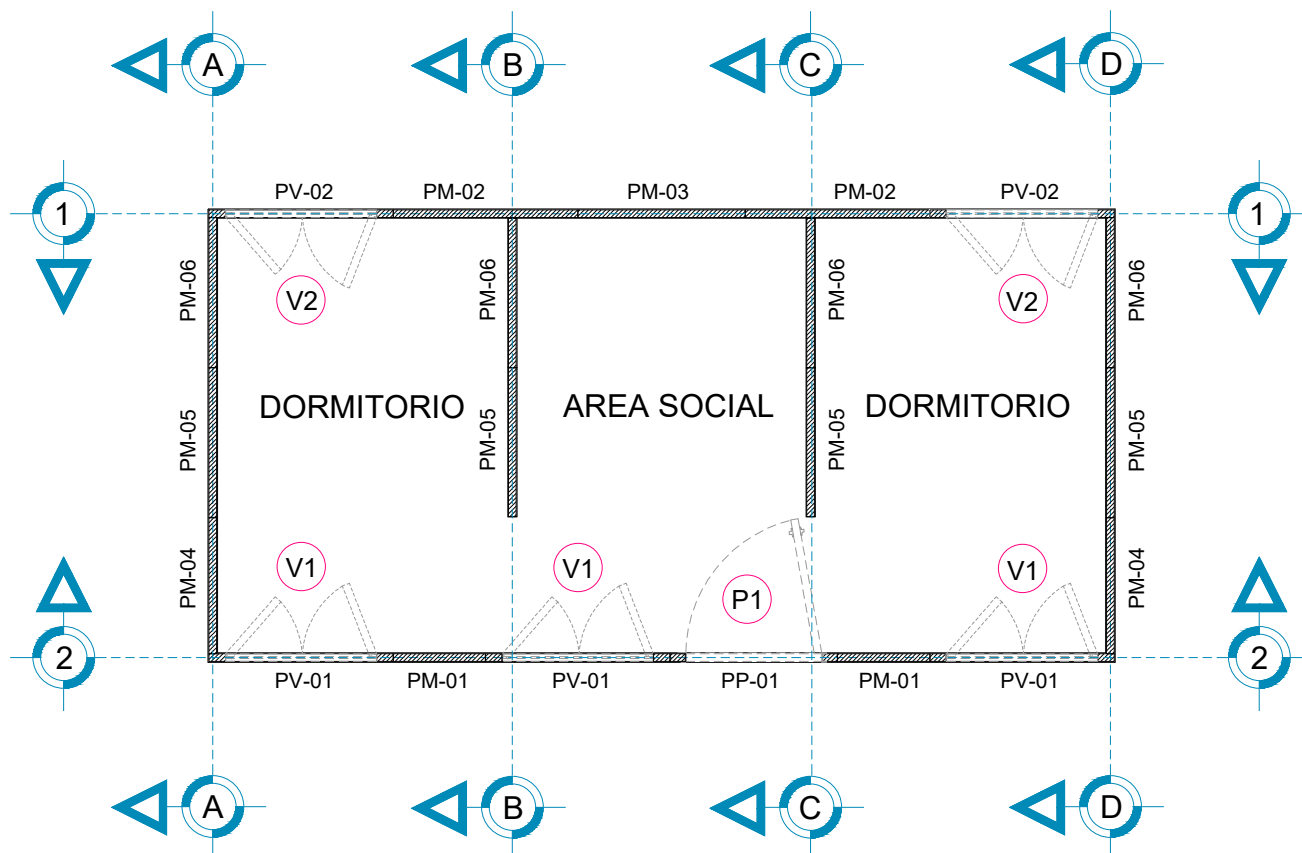
JUNIO 2019

REVISIÓN:

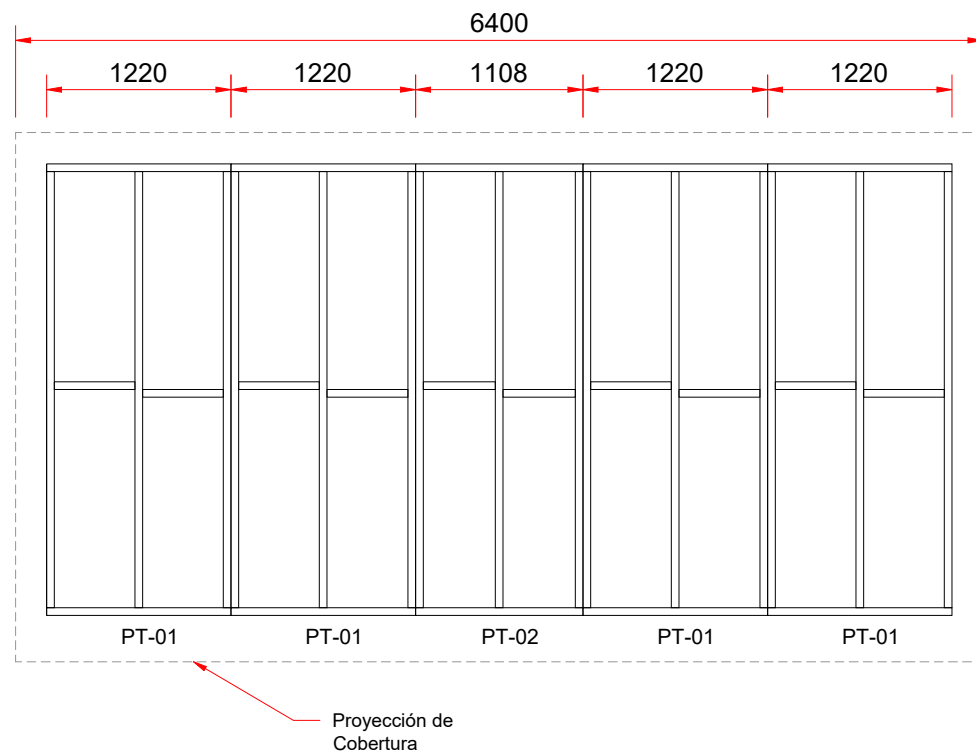
A

LÁMINA:

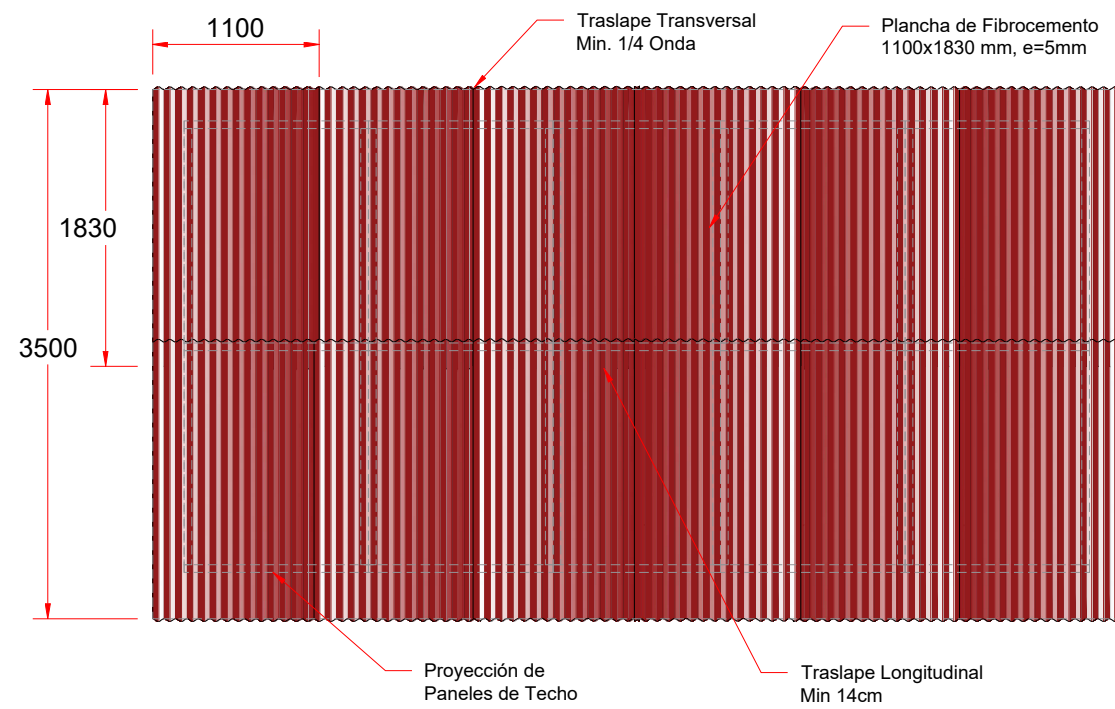
A-01



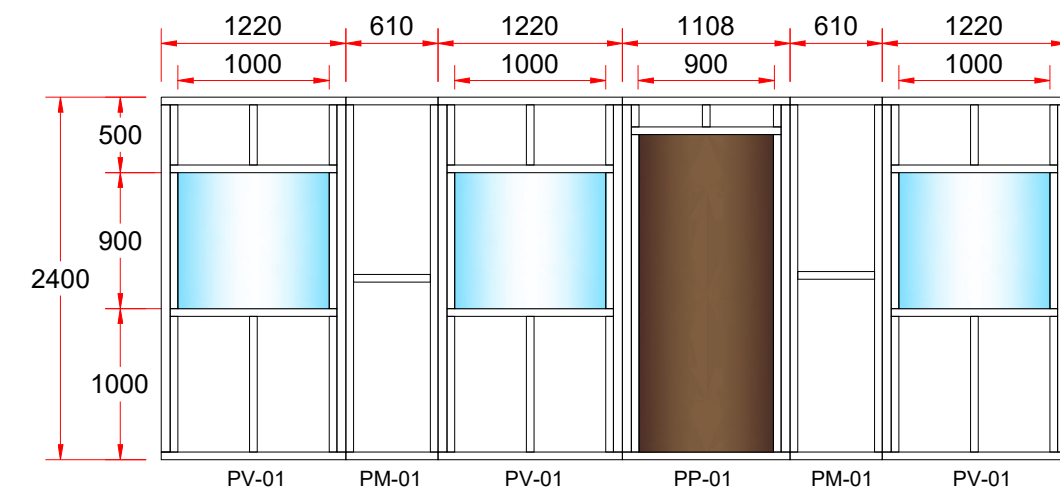
PLANTA DE MODULACI3N
ESC. 1/50



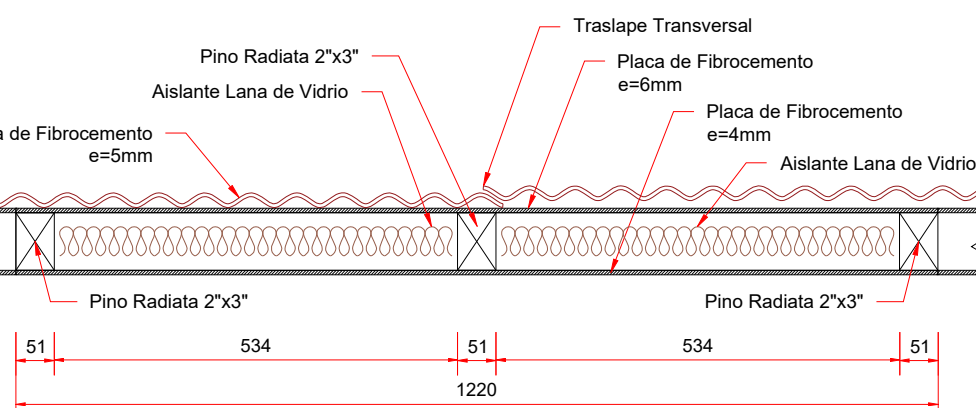
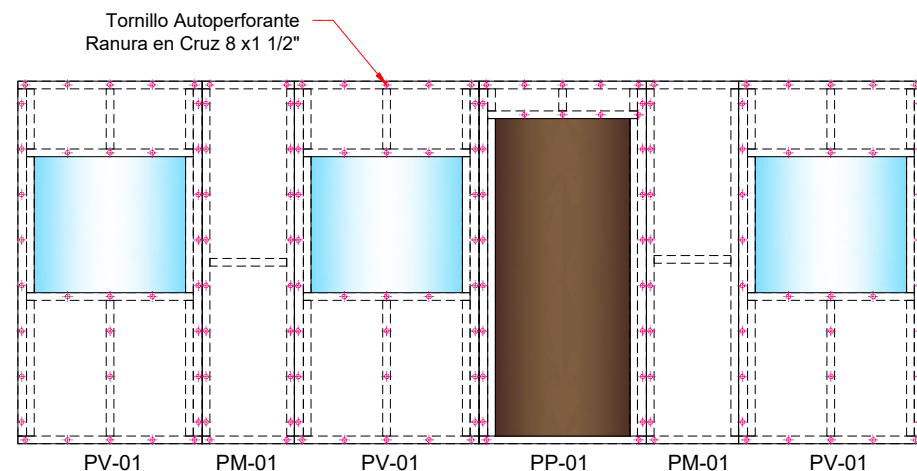
DISTRIBUCI3N DE PANELES TECHO
ESC. 1/50



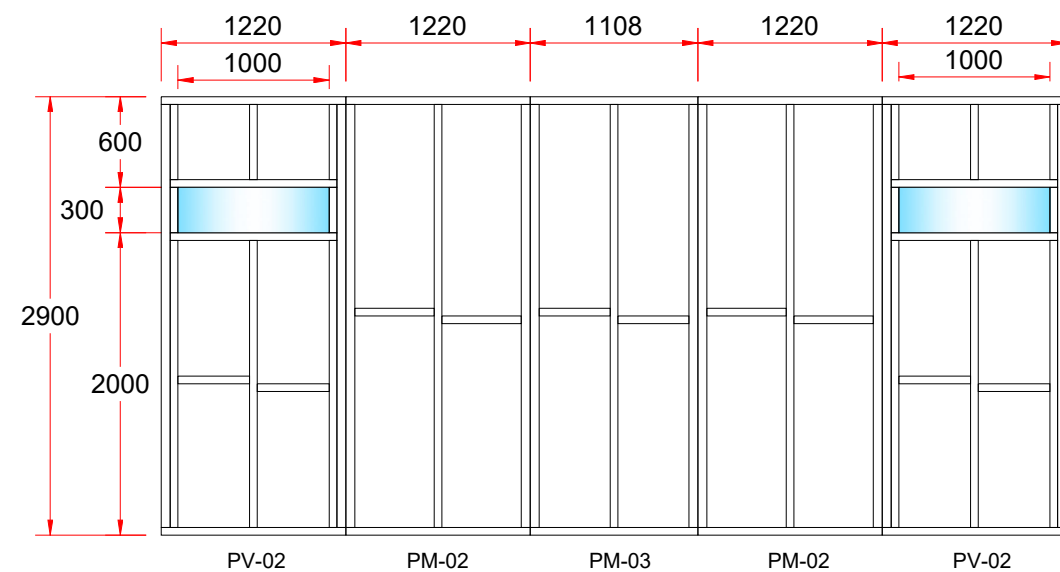
DISTRIBUCI3N DE COBERTURA
ESC. 1/50



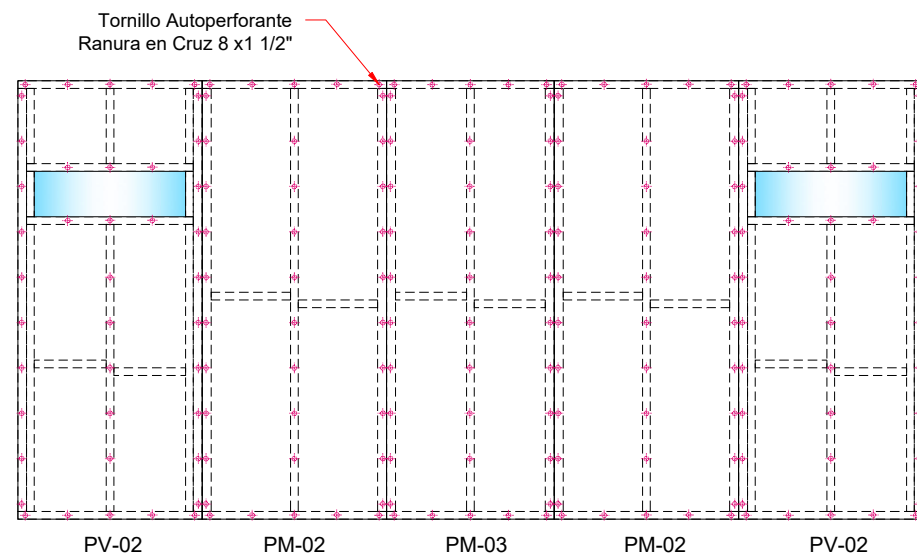
ELEVACI3N EJE 2
ESC. 1/50



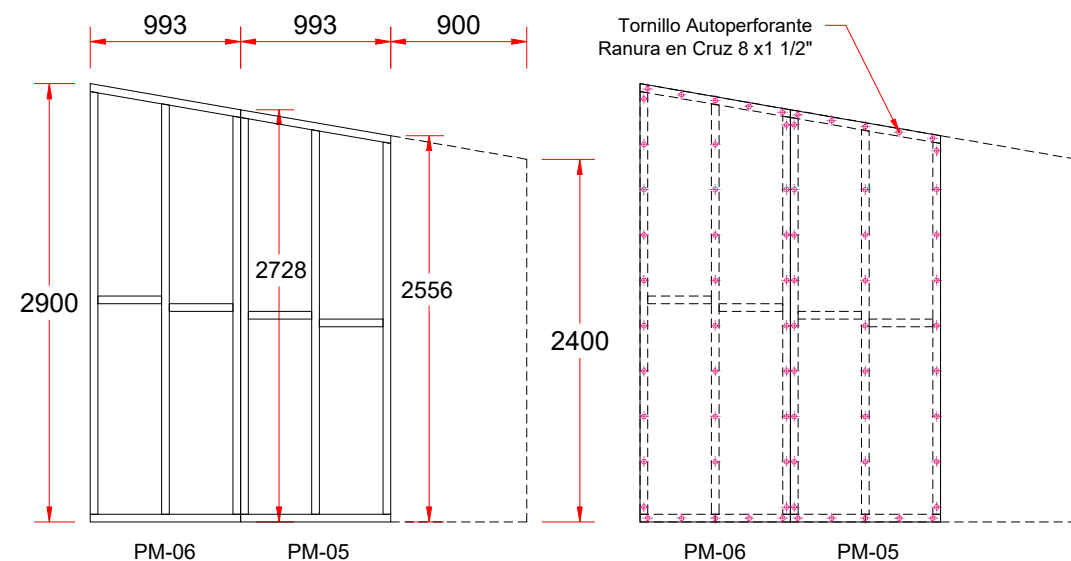
DETALLE DE
PANEL TECHO PT-01 / PT-02
ESC. 1/10



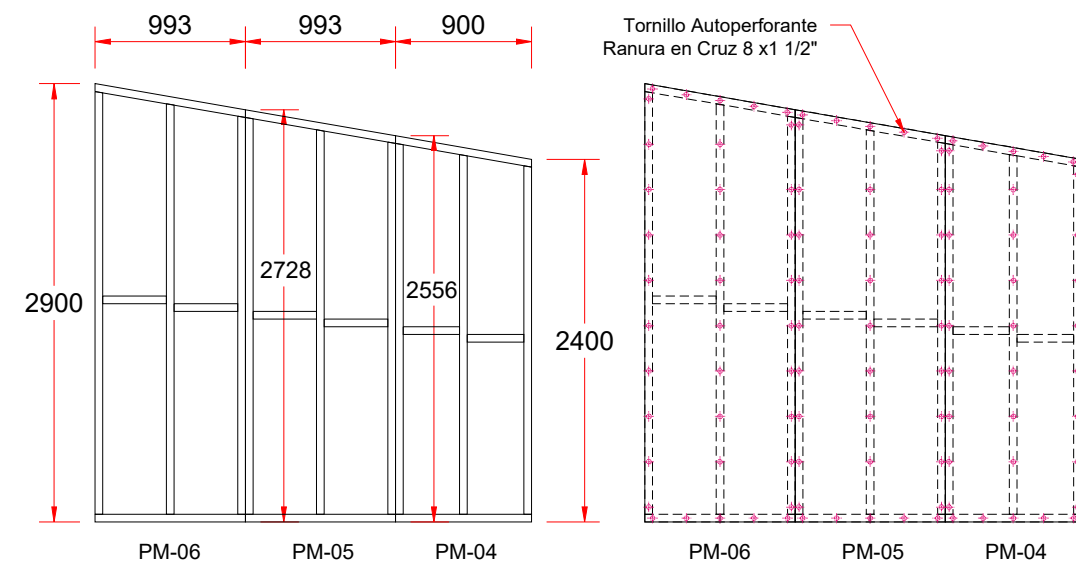
ELEVACI3N EJE 1
ESC. 1/50



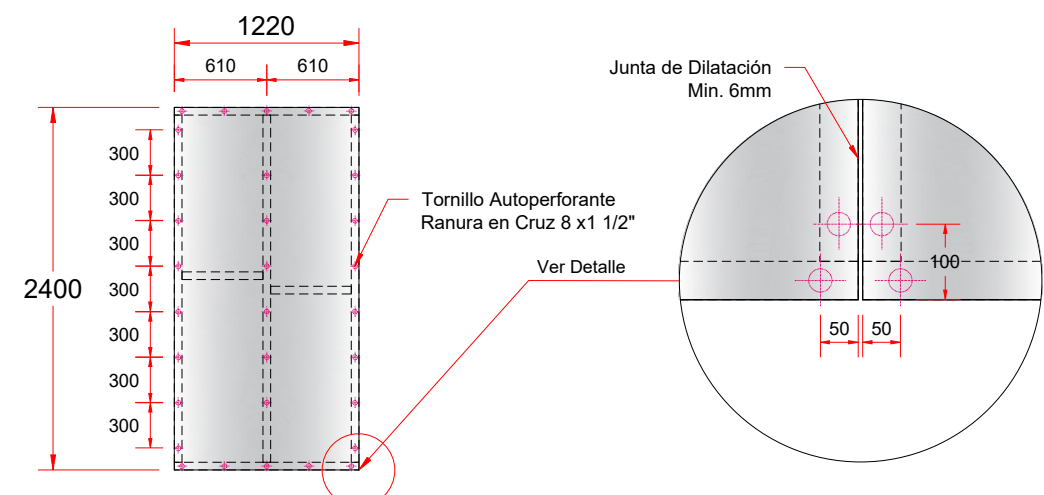
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE ELEMENTOS DE MODULACI3N								
PANELES TIPO MURO								
ITEM	CODIGO	CANT.	ANCHO	LARGO	ESPESOR	UBICACION	VANO	COMENTARIOS
01	PV-01	03	1 220 mm	2 400 mm	62.80 mm	EJE 2	V-01	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
02	PM-01	02	610 mm	2 400 mm	62.80 mm	EJE 2	-	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
03	PP-01	01	1 108 mm	2 400 mm	62.80 mm	EJE 2	P-01	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
04	PV-02	02	1 220 mm	2 900 mm	62.80 mm	EJE 1	V-02	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
05	PM-02	02	1 220 mm	2 900 mm	62.80 mm	EJE 1	-	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
06	PM-03	01	1 108 mm	2 900 mm	62.80 mm	EJE 1	-	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
07	PM-04	02	900 mm	2 556 - 2 400	62.80 mm	EJES B/C	-	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
08	PM-05	04	993 mm	2 728 - 2 556	62.80 mm	EJES A/B/C/D	-	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
09	PM-06	04	993 mm	2 900 - 2 728	62.80 mm	EJES A/B/C/D	-	Listonería de 2"x2" + Placa de Fibrocemento e=6mm
PANELES TIPO TECHO								
ITEM	CODIGO	CANT.	ANCHO	LARGO	ESPESOR	UBICACION	VANO	COMENTARIOS
10	PT-01	04	1 220 mm	2 988 mm	62.80 mm	Cobertura	-	Listonería de 2"x3" + Placa de Fibrocemento e=6mm
11	PT-02	01	1 108 mm	2 988 mm	62.80 mm	Cobertura	-	Listonería de 2"x3" + Placa de Fibrocemento e=6mm



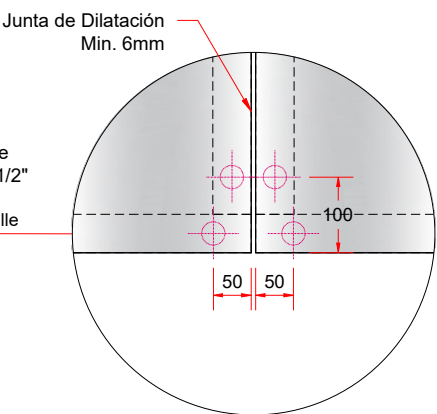
ELEVACI3N EJE B/C
ESC. 1/50



ELEVACI3N EJE A/D
ESC. 1/50



DETALLE DE FIJACION
ESC. 1/50



DETALLE DE ESQUINA
ESC. 1/10



TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. ESTE PLANO ES CONFIDENCIAL Y/O PROPIEDAD CONFIDENCIAL DE LOS AUTORES Y ES CEDIDO BAJO ESTRUCTURA CONFIDENCIALIDAD POR LO QUE NO DEBERÁ SER UTILIZADO Y/O REPRODUCIDO PARA NINGÚN OTRO PROPÓSITO PARA EL CUAL FUE CEDIDO. ESTE DEBERÁ SER INMEDIATAMENTE DEVUELTO BAJO PEDIDO, Y ESTÁ SUJETO A TODOS LOS DEMÁS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE CUALQUIER ACUERDO ESCRITO CON LA INCORPORACI3N DE TODO LO RELACIONADO A ESTE DOCUMENTO.

PROYECTO:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL
COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA
DE PANELES SANDWICH Y EL
SISTEMA DE ENTRAMADOS DE
MADERA USADOS COMO M3DULO
TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA
COSTA NORTE DEL PERÚ"

DESCRIPCION:

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

DIBUJADO POR:

JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

REVISADO POR:

JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

APROBADO POR:

ESPECIALIDAD:

ARQUITECTURA

TIPOLOGÍA:

SISTEMA DE ENTRAMADOS DE
MADERA Y FIBROCEMENTO

DESCRIPCI3N:

MODULACION GENERAL

ESCALA:

1:50

LÁMINA:

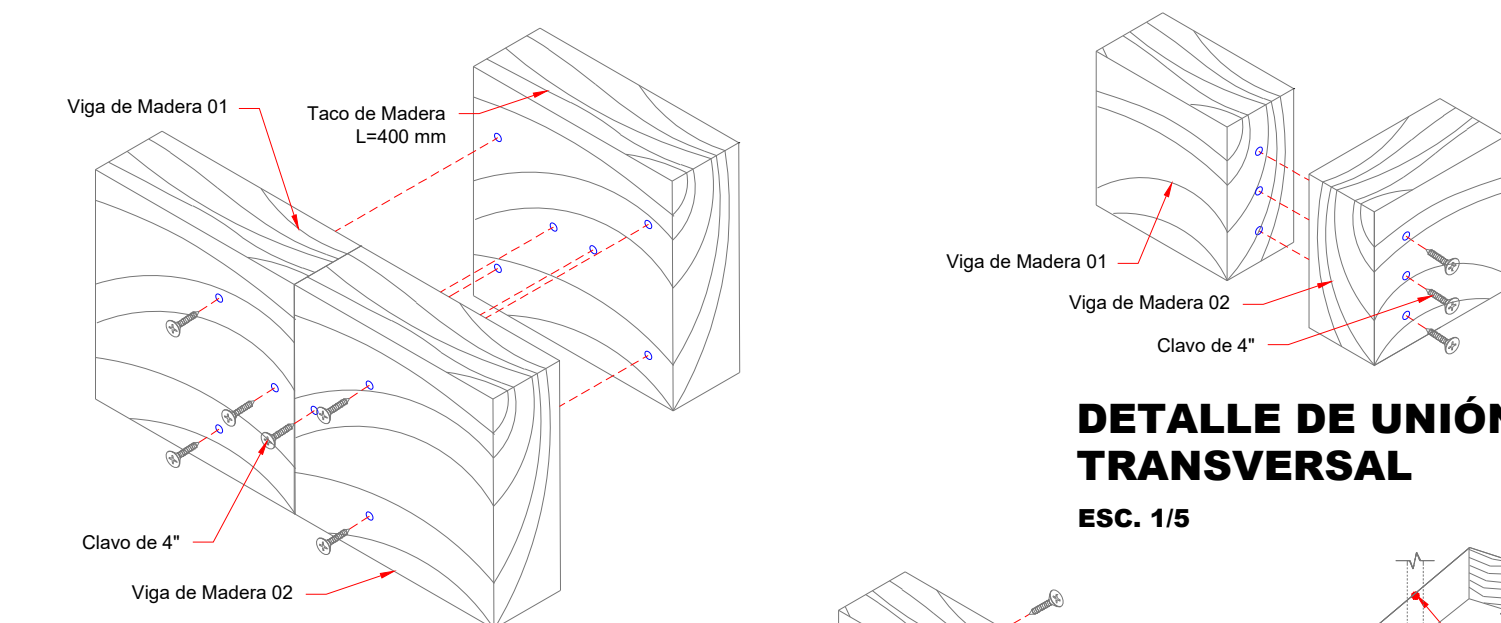
FECHA:

JUNIO 2019

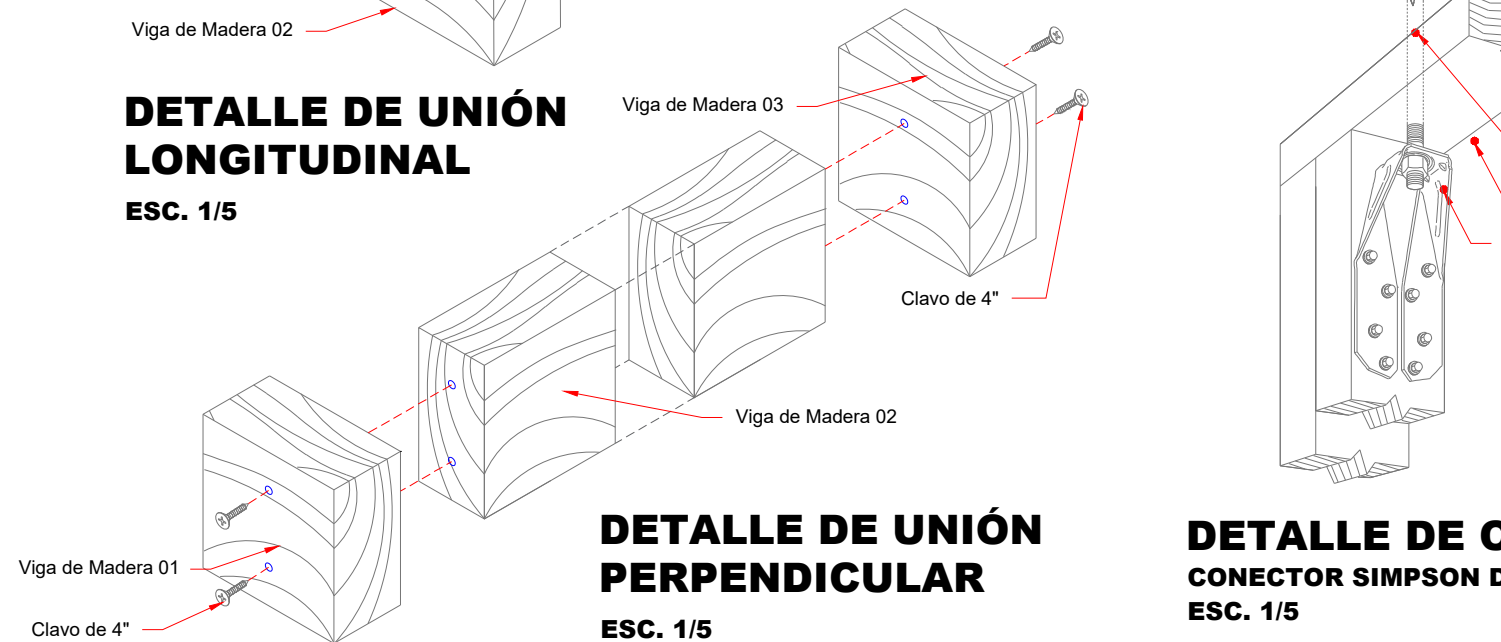
REVISI3N:

A

A-02

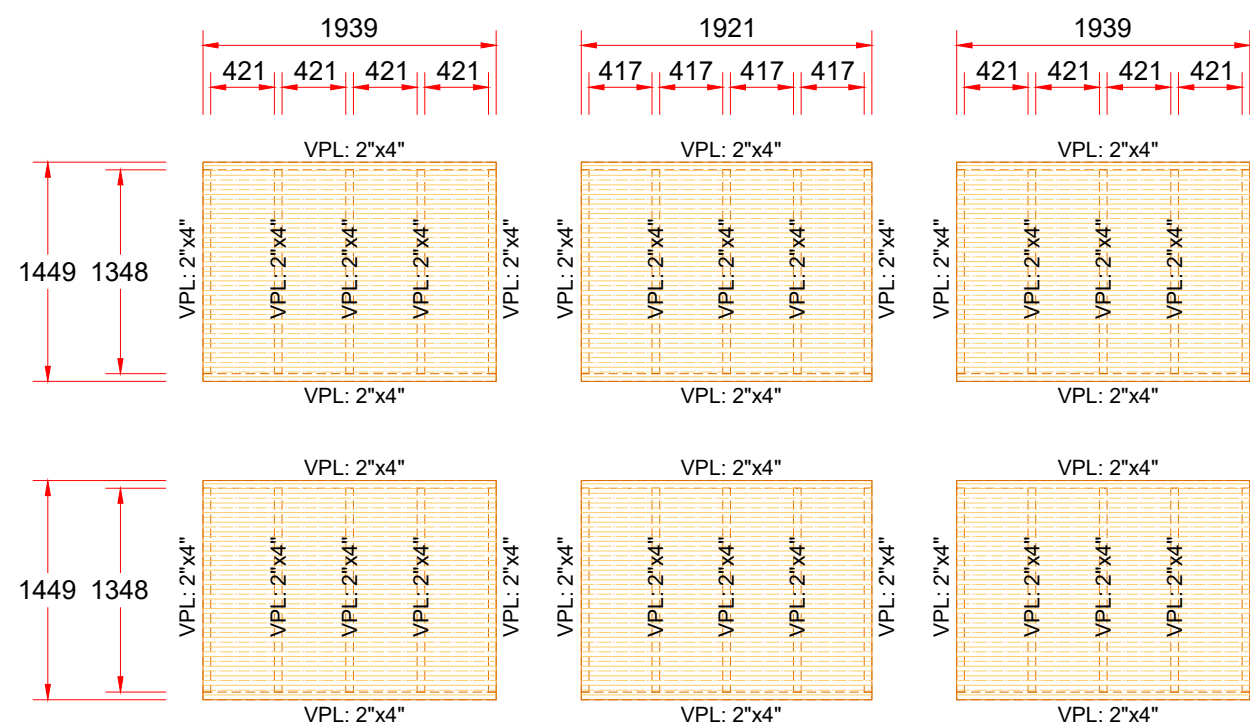


DETALLE DE UNIÓN LONGITUDINAL
ESC. 1/5

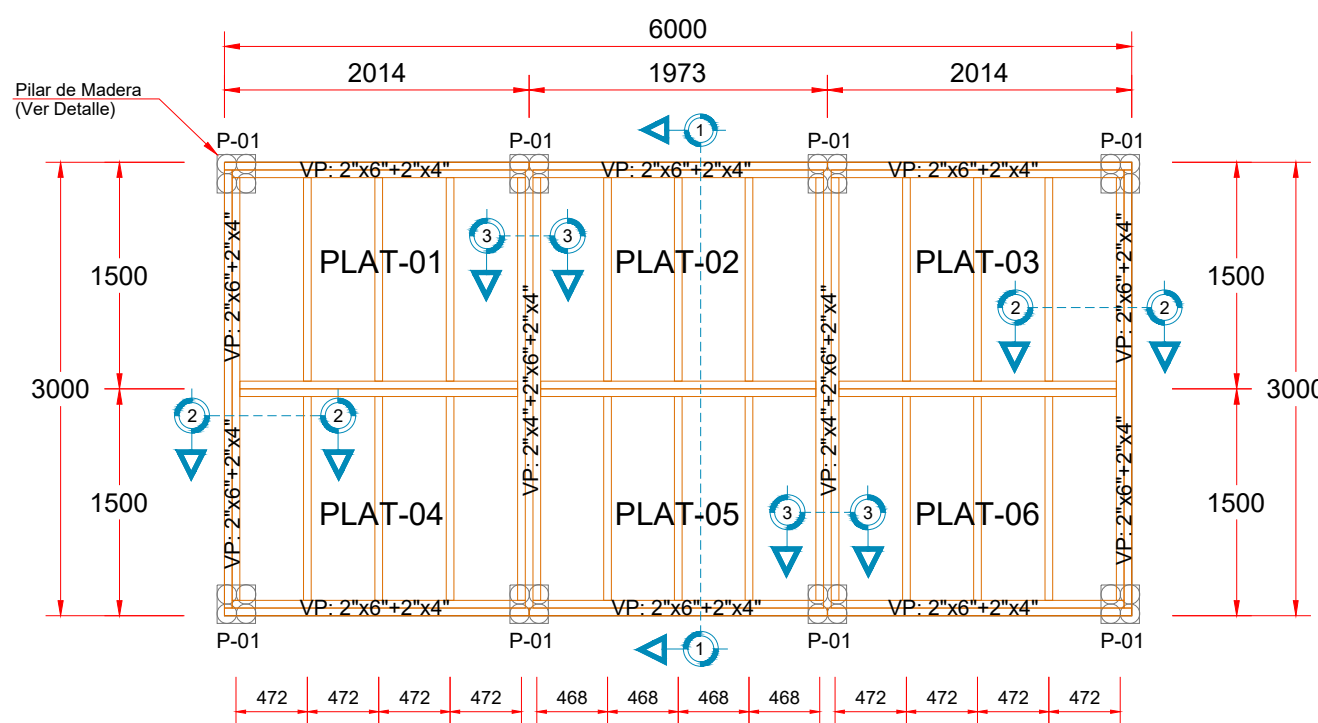


DETALLE DE UNIÓN PERPENDICULAR
ESC. 1/5

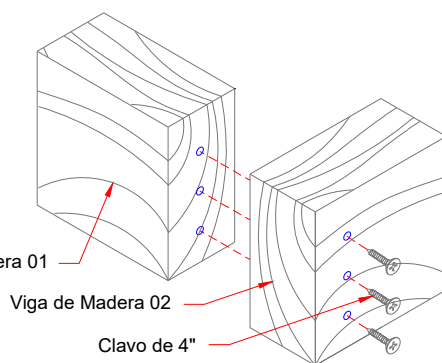
DETALLE DE CONECTOR CONECTOR SIMPSON DTT2Z
ESC. 1/5



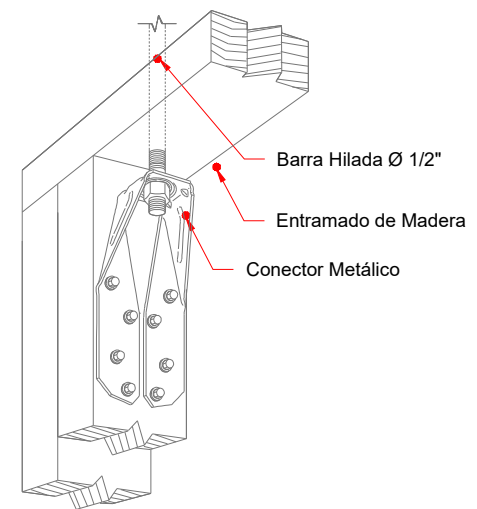
DIAGRAMACION DE PISO INTERIOR
ESC. 1/50



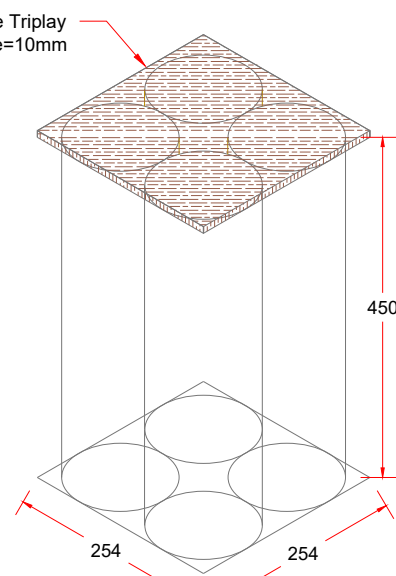
PLANTA DE PLATAFORMA DE PISO
ESC. 1/50



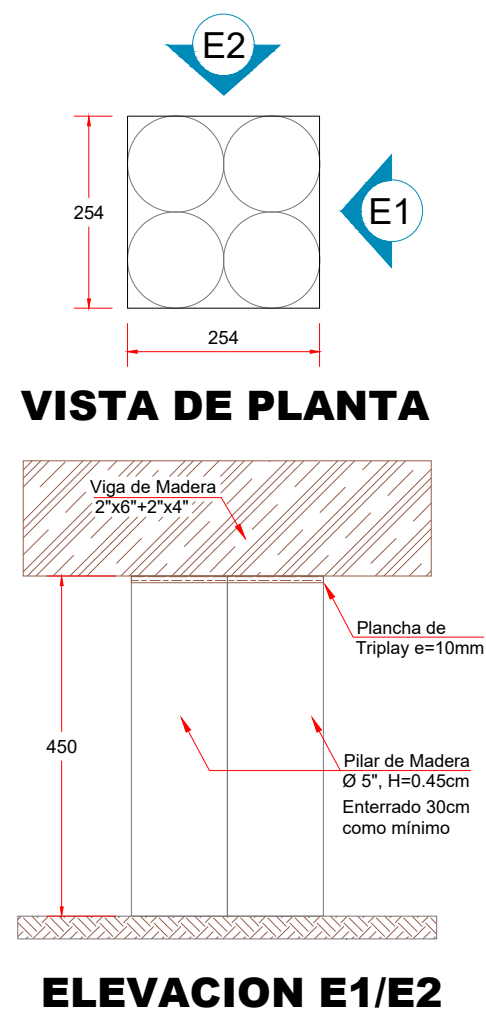
DETALLE DE UNIÓN TRANSVERSAL
ESC. 1/5



VISTA ISOMETRICA

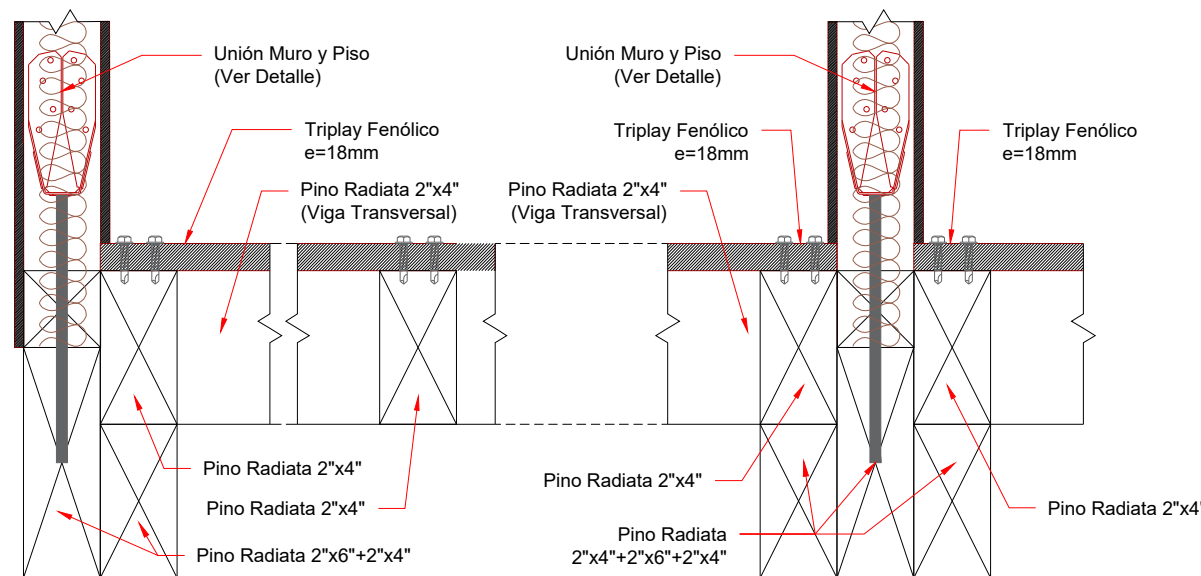


DETALLE DE PEDESTAL P-01
ESC. 1/10



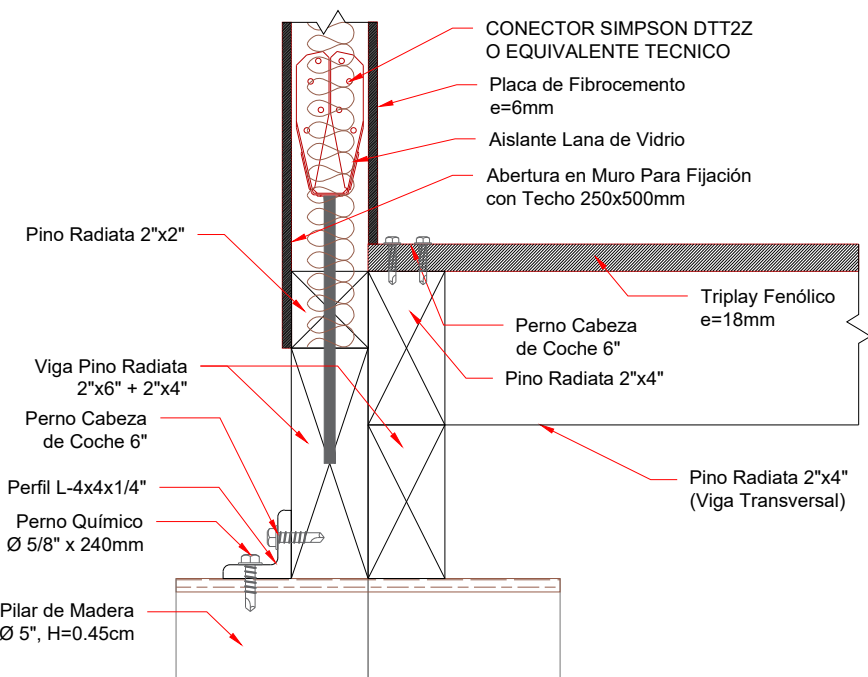
VISTA DE PLANTA

ELEVACION E1/E2

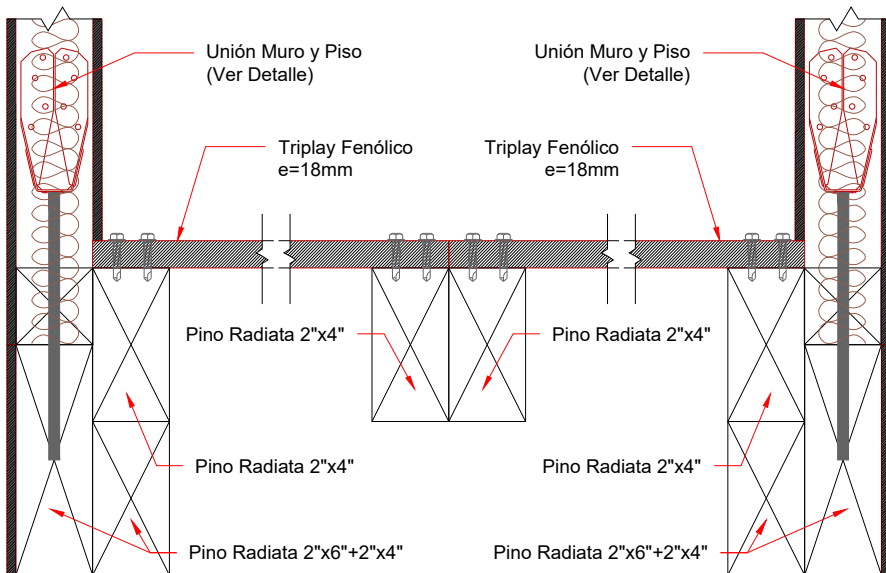


SECCION 2-2
ESC. 1/5

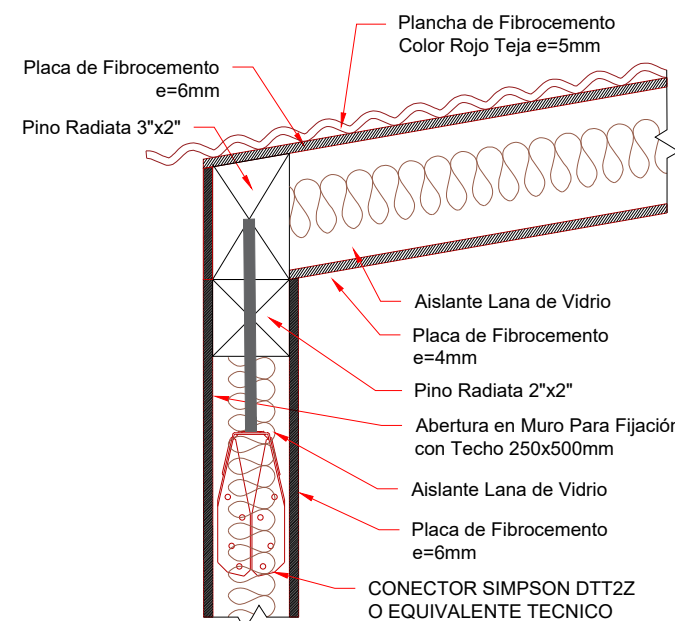
SECCION 3-3
ESC. 1/5



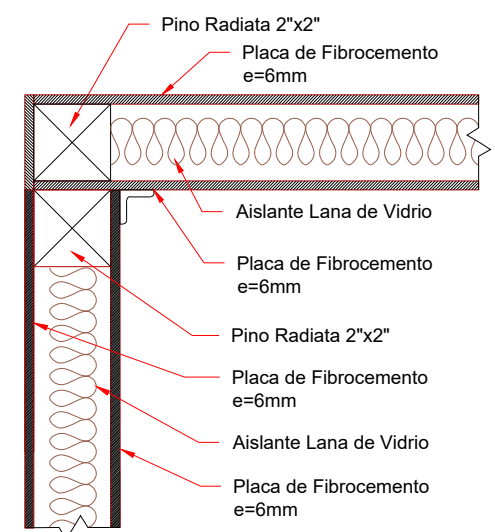
DETALLE DE UNIÓN MURO Y PISO
ESC. 1/5



SECCION 1-1
ESC. 1/5



DETALLE DE UNIÓN MURO Y TECHO
ESC. 1/5



DETALLE DE UNIÓN MURO - MURO
ESC. 1/5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
ACERO			
PERFILES LAMINADOS, BARRAS Y PLANCHAS : ASTM A36/A36M	Fy = 2 530 kg/cm2		
PERFILES CONFORMADOS EN FRIO : ASM A570	Fy = 2 530 kg/cm2		
MADERA			
DE ACUERDO AL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES	E.010 MADERA		
CONTENIDO DE HUMEDAD	H = 12.00 %		
RESISTENCIA ADMISIBLE A FLEXION	fm = 76.48 kg/cm2		
RESISTENCIA ADMISIBLE A COMPRESION PARALELA	fc = 76.48 kg/cm2		
RESISTENCIA ADMISIBLE A COMPRESION PERPENDICULAR	fc = 15.00 kg/cm2		
RESISTENCIA ADMISIBLE AL CORTE	fv = 8.00 kg/cm2		
MODULO DE ELASTICIDAD	Emin = 90 000 kg/cm2		
DENSIDAD PROMEDIO	Dmin = 420.00 kg/m3		
LA PROTECCION SUPERFICIAL DE LA MADERA SERA CON RESINA PROTECTORA A BASE DE CAUCHO (UNDERCOATING O EQUIVALENTE)			
SOLDADURA Y CONECTORES			
ELECTRODOS E 6011	Fu = 4 200 kg/cm2		
PERNOS ASTM A325	Fu = 8 400 kg/cm2		
PERNOS ASTM A307	Fu = 4 500 kg/cm2		
TUERCAS ASTM A194/A194M			
GOLLILLAS O ARANDELAS ASTM F436			
BARRAS DE ANCLAJE Y BARRAS CON HILO ASTM A36/ASTM F1554			
SOBRECARGAS DE DISEÑO			
SOBRECARGA DE TECHO O NIEVE	S/C = 40 kg/m2		
VELOCIDAD DE VIENTO	Vh = 130 km/h		
PARAMETROS SISMICOS			
SISTEMA ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE	MURO ESTRUCTURALES		
PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION	Tx = 0.050 s ; Ty = 0.054 s		
PARAMETROS SISMICOS			
	Z = 0.45	U = 1.10	TL = 1.60
	S = 1.40	TP = 0.90	Ro = 6.00
FUERZA CORTANTE EN LA BASE (V = ZUSC/R)	Vx = 536.00 kg ; Ty = 536.00 kg		
DESPLAZAMIENTO MAXIMO DEL ULTIMO NIVEL	Dx = 0.26 cm ; Dy = 0.39 cm		
NOTAS			
1. LAS DIMENSIONES ESTAN EXPRESADAS EN MILIMETROS Y LOS NIVELES EN METROS.			
2. TODO TRABAJO DE SOLDADURA SERA REALIZADO EN EL TALLER.			
3. LAS CONEXIONES EN OBRA SERAN EMPERNADAS.			



TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. ESTE PLANO ES CONFIDENCIAL Y/O PROPIEDAD CONFIDENCIAL DE LOS AUTORES Y ES CEDIDO BAJO ESTRUCTURA CONFIDENCIALIDAD POR LO QUE NO DEBERÁ SER UTILIZADO Y/O REPRODUCIDO PARA NINGUN OTRO PROPÓSITO PARA EL CUAL FUE CEDIDO. ESTE DEBERÁ SER INMEDIATAMENTE DEVUELTO BAJO PEDIDO, Y ESTÁ SUJETO A TODOS LOS DEMÁS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE CUALQUIER ACUERDO ESCRITO CON LA INCORPORACIÓN DE TODO LO RELACIONADO A ESTE DOCUMENTO.

PROYECTO:
"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

DESCRIPCION:
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

DIBUJADO POR:
JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

REVISADO POR:
JOHANN JHANPIERE CÁRDENAS HUAMÁN
YUSEF ANDRÉ CONTRERAS GÁLVEZ

APROBADO POR:

ESPECIALIDAD:
ESTRUCTURAS

TIPOLOGÍA:
SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA Y FIBROCEMENTO

DESCRIPCIÓN:
DETALLES DE PLATAFORMA

ESCALA: 1:50	LÁMINA: E-01
FECHA: ABRIL 2019	
REVISIÓN: A	

Anexo B: Ensayos del Sistema de Paneles Sándwich



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
CISMID**

ENSAYOS ESTRUCTURALES AL SISTEMA MODULAR NEXCOM



Informe N° 08-LE-CISMID/2010

INFORME TÉCNICO

MARZO, 2010



Lima-Perú

ENSAYOS ESTRUCTURALES AL SISTEMA MODULAR NEXCOM

1. ANTECEDENTES

A solicitud del Ing. Ali Flores Soriano, representante del Departamento de Ingeniería de la empresa Nexos Comerciales S.A.C - NEXCOM, en fecha 26 de junio del 2009 se presentó una propuesta técnico económica para la ejecución de ensayos de paneles de muro y techo. De acuerdo a las coordinaciones realizadas en las visitas al laboratorio por parte del Ing. Ali Flores Soriano se definió los tipos de ensayos y las características de los especímenes.

El presente informe muestra los resultados de los especímenes conformado por paneles los cuales están conformados por planchas de poliestireno expandido con planchas metálicas adheridas en las caras exteriores.

2. SOBRE LOS PANELES NEXCOM

Este sistema consta de paneles livianos tipo sándwich conformado por un relleno de poliestireno expandido (EPS) dentro de dos láminas metálicas, perfiles y accesorios conformados con la misma lámina metálica y la cubierta de techo también en paneles tipo sándwich. Los perfiles y/o accesorios están anclados a la cimentación por medio de clavos para concreto. Todos unidos entre sí por medio de un sistema machihembrado y remaches forman el Sistema Modular NEXCOM. Los paneles cuentan con un sistema de machihembrado el cual permite un ensamblado rápido y sencillo.



Figura 1: Sistema constructivo NEXCOM

3. PLAN DE TRABAJO

Para la realización del estudio se planteó la ejecución de los siguientes ensayos con la finalidad de conocer el comportamiento de los diferentes componentes de su sistema constructivo bajo diversas sollicitaciones de carga:

- Ensayo de compresión axial en muestras de poliestireno expandido.
- Ensayo de compresión diagonal en muestras de poliestireno expandido.
- Ensayo de compresión axial en paneles muro.
- Ensayo de flexión en paneles techo.
- Ensayo cíclico de carga lateral en muro formado por paneles.
- Ensayo de carga perpendicular a un muro formado por paneles.
- Ensayo de un módulo a escala natural.
- Ensayo de exposición al fuego.

4. ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN MUESTRAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Con la finalidad de conocer las características del material frente a cargas de compresión axial y determinar su carga máxima y esfuerzo máximo de poliestireno expandido (EPS) se ensayaron 06 especímenes bajo carga incremental monotónica. Este ensayo consiste en aplicar carga axial mediante una máquina de compresión a paneles de EPS de 30cm de altura, 15cm de ancho y 5cm de espesor, como se muestra en la Figura 2.

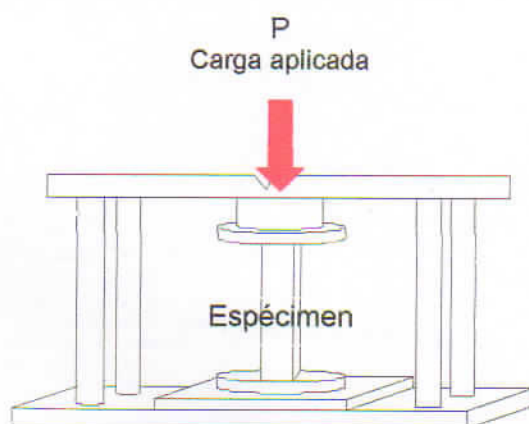


Figura 2: Esquema del ensayo de compresión axial en paneles de EPS

En la Foto 1 se muestra el espécimen antes de ser ensayado a cargas de compresión axial, para ello se utilizó una máquina de compresión marca ELE de una capacidad de 110tf.

A consecuencia del incremento de carga el espécimen es pandeado, como se aprecia en la Foto 2, hasta finalmente ceder y fallar tal como se muestra en la Foto 3.



Foto 1: Estado inicial del espécimen.



Foto 2: Pandeo del espécimen.



Foto 3: Falla del espécimen.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del ensayo de compresión axial en paneles de EPS. La carga máxima promedio alcanzada en estos ensayos es 177kgf que es equivalente a un esfuerzo axial de 2.37kgf/cm².

Tabla 1: Resultados de los ensayos de compresión axial.

ID	h cm	b cm	t cm	P _{max} kgf	σ _{max} Kgfi/cm ²
N-01	30	15	5	180	2.40
N-02	30	15	5	180	2.40
N-03	30	15	5	180	2.40
N-04	30	15	5	190	2.53
N-05	30	15	5	180	2.40
N-06	30	15	5	150	2.00

5. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MUESTRAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Con la finalidad de conocer las características del material como carga máxima, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad del poliestireno expandido frente a cargas de compresión diagonal se ensayaron 05 especímenes. Este tipo de ensayo consiste en la aplicación de cargas de compresión en un panel de de EPS de 50x50x5cm el cual tiene su eje diagonal en posición vertical alineado con el gato hidráulico, como se aprecia en la Figura 3.

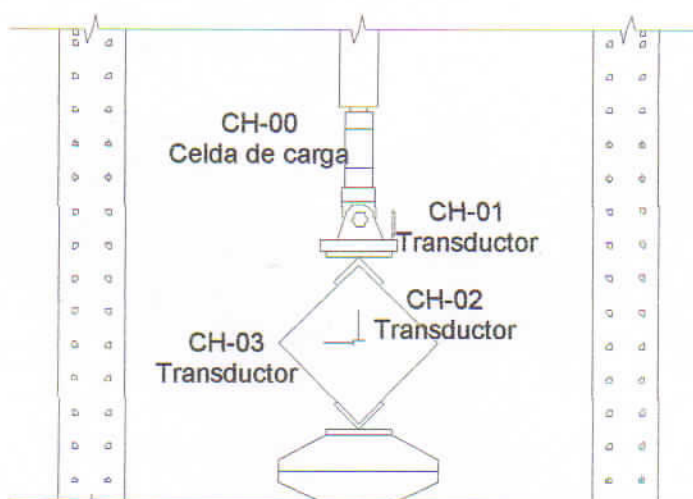


Figura 3: Esquema del ensayo de compresión diagonal

A continuación se presentan las curvas experimentales obtenidas en los ensayos de compresión diagonal. La Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 corresponden a los especímenes M-01, M-02, M-03, M-04 y M-05, respectivamente.



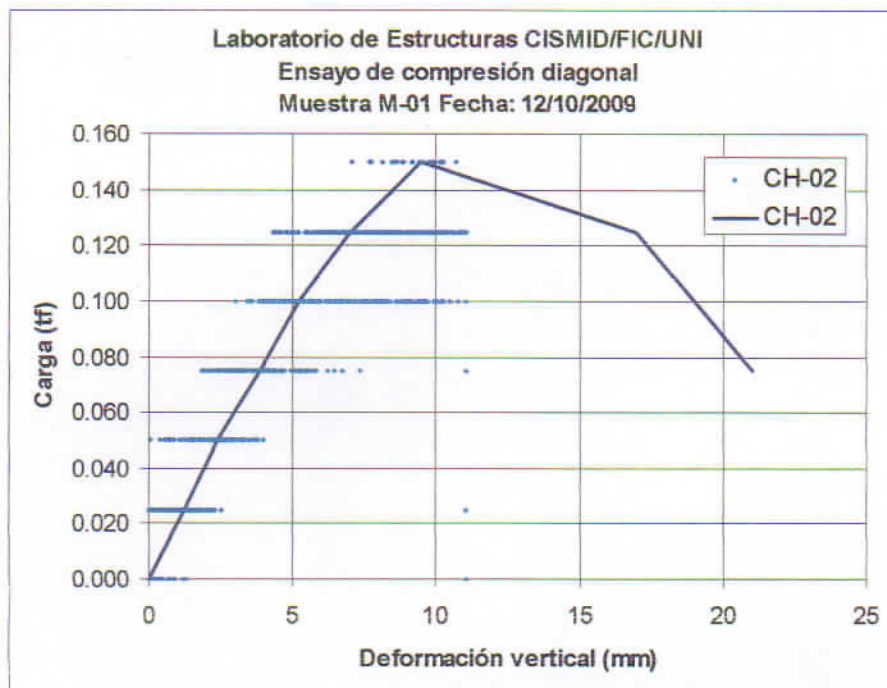


Figura 4: Curva carga -desplazamiento del espécimen M-01.

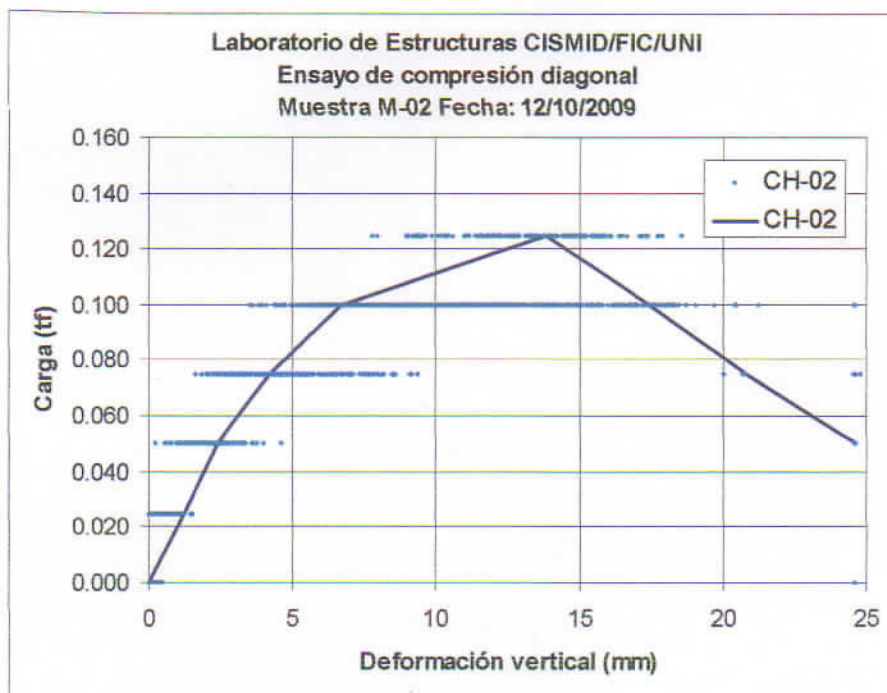


Figura 5: Curva carga -desplazamiento del espécimen M-02.

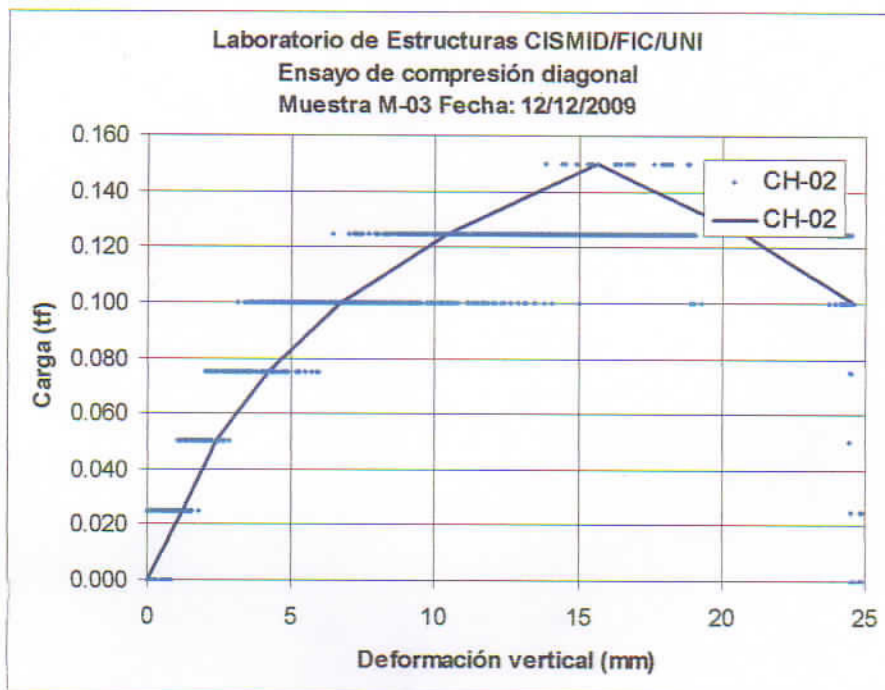


Figura 6: Curva carga -desplazamiento del espécimen M-03.

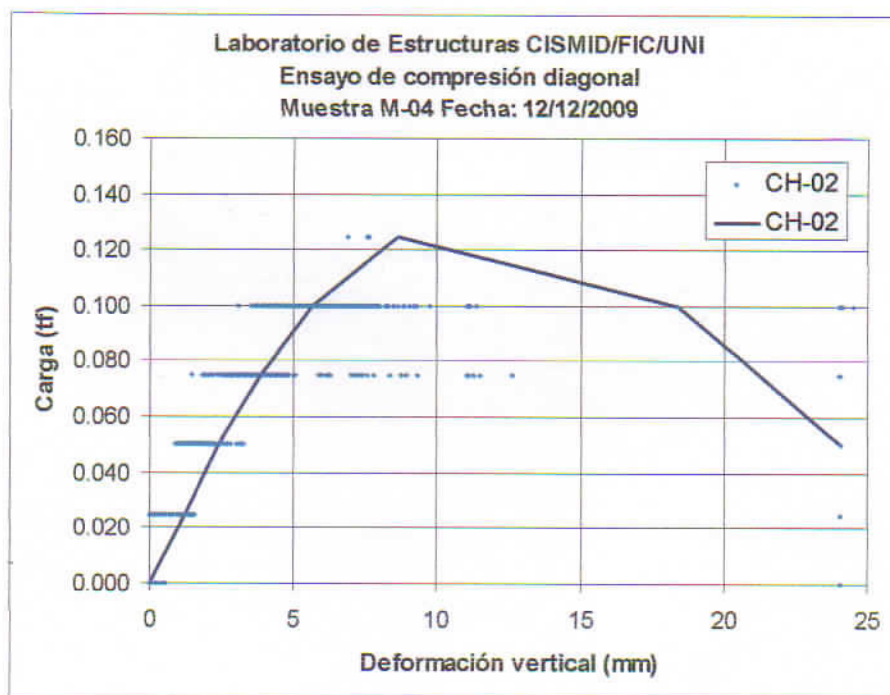


Figura 7: Curva carga -desplazamiento del espécimen M-04.

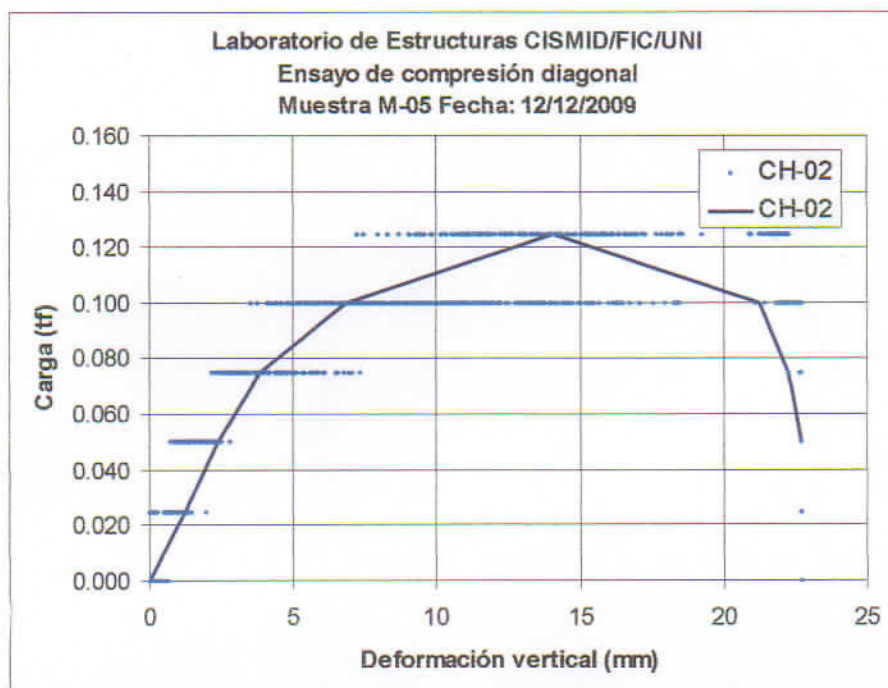


Figura 8: Curva carga -desplazamiento del espécimen M-05.

En la Tabla 2 se resumen las dimensiones y resultados de los ensayos de compresión diagonal en los paneles de EPS.

Tabla 2: Resultados de los ensayos de compresión diagonal.

ID	a cm	b cm	t cm	d cm	P _{max} cm	σ_{max} Kg/cm ²	Módulo de Corte (G) kg/cm ²
M-01	50	50	5	70.71	150	0.424	39
M-02	50	50	5	70.71	125	0.354	39
M-03	50	50	5	70.71	150	0.424	39
M-04	50	50	5	70.71	125	0.354	39
M-05	50	50	5	70.71	125	0.354	40

En la Figura 9 se muestra una comparación de curvas experimentales de los especímenes sometidos a ensayos de compresión diagonal, donde se observa que la carga máxima promedio es 135kgf.

En la Figura 10 se muestra una gráfica comparativa entre las curvas de esfuerzo-deformación unitaria calculadas a partir de las curvas mostradas en la Figura 9, con la cual es posible determinar que los especímenes presentan un esfuerzo máximo promedio de 0.382kgf/cm² y un módulo de corte de 39kgf/cm² obtenido en mediante una regresión matemática de los resultados en el rango elástico.

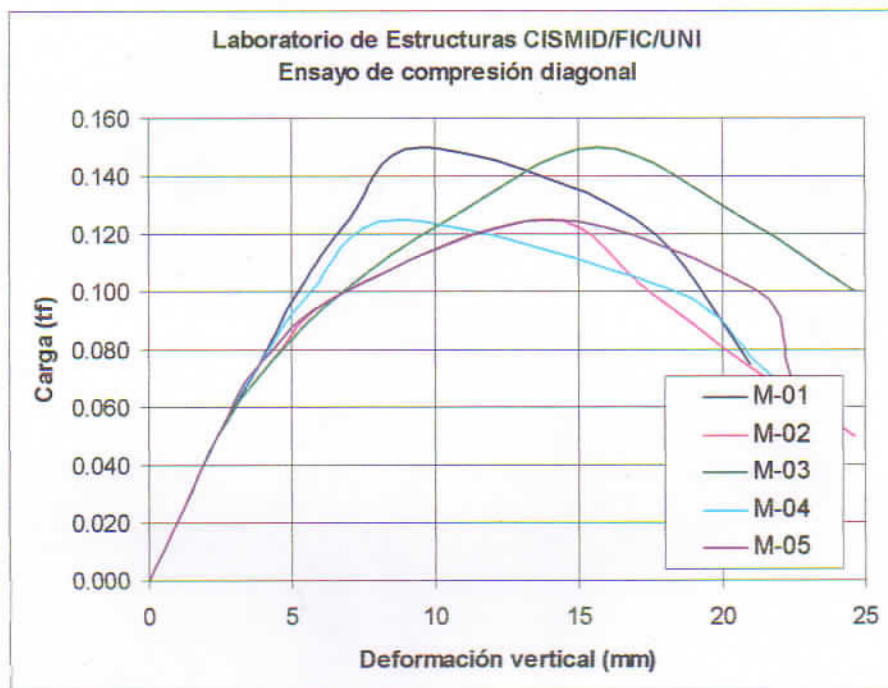


Figura 9: Curva experimental de los especímenes ensayados a compresión diagonal.

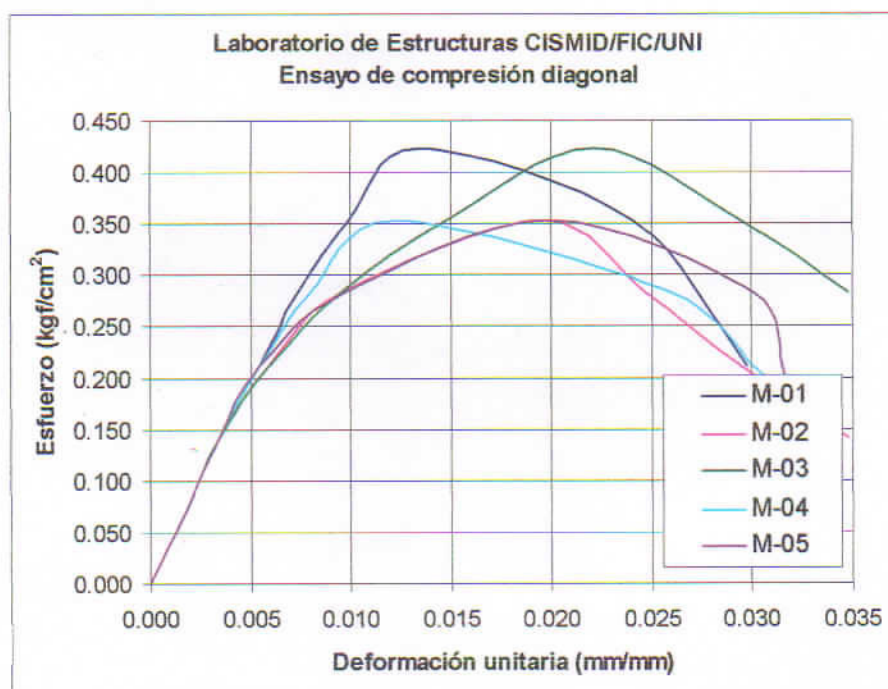


Figura 10: Curva esfuerzo-deformación de los especímenes ensayados a compresión diagonal.



6. ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PANELES MURO

Con la finalidad de conocer la carga máxima, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad frente a cargas de compresión axial en los paneles de muro, se ensayaron 03 especímenes de 230cm de altura, 120cm de ancho y 5.1cm de espesor, compuestas por planchas metálicas y poliestireno expandido (EPS) en su interior. Este tipo de ensayo consiste en la aplicación de cargas de compresión mediante un gato hidráulico que transmite y reparte la carga uniformemente al panel a través de una viga rígida, como se aprecia en la Figura 3.

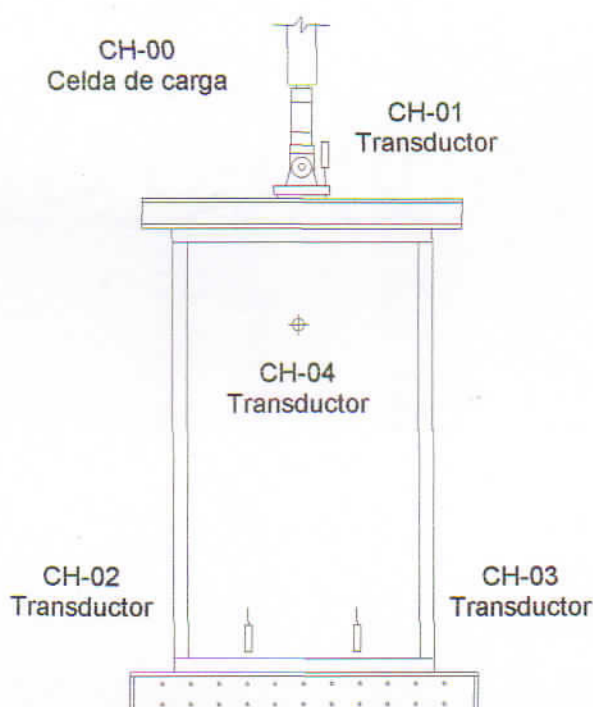


Figura 11: Esquema del ensayo a compresión axial

A continuación se presentan las curvas experimentales obtenidas en los ensayos de compresión axial. La Figura 12, Figura 13 y Figura 14 corresponden a los especímenes M-1, M-2, M-3 respectivamente.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

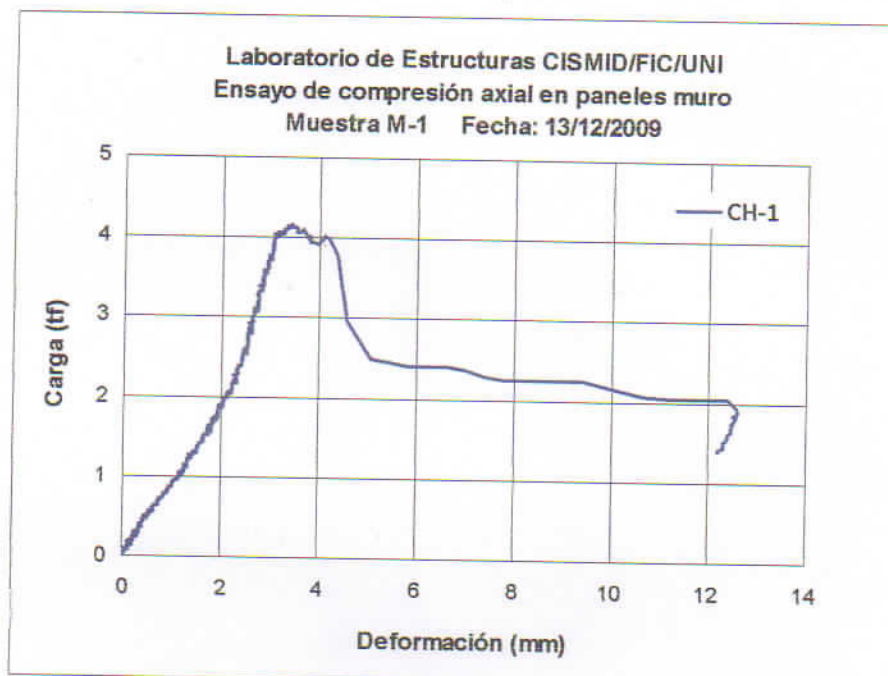


Figura 12: Curva carga-desplazamiento del panel muro M-1.

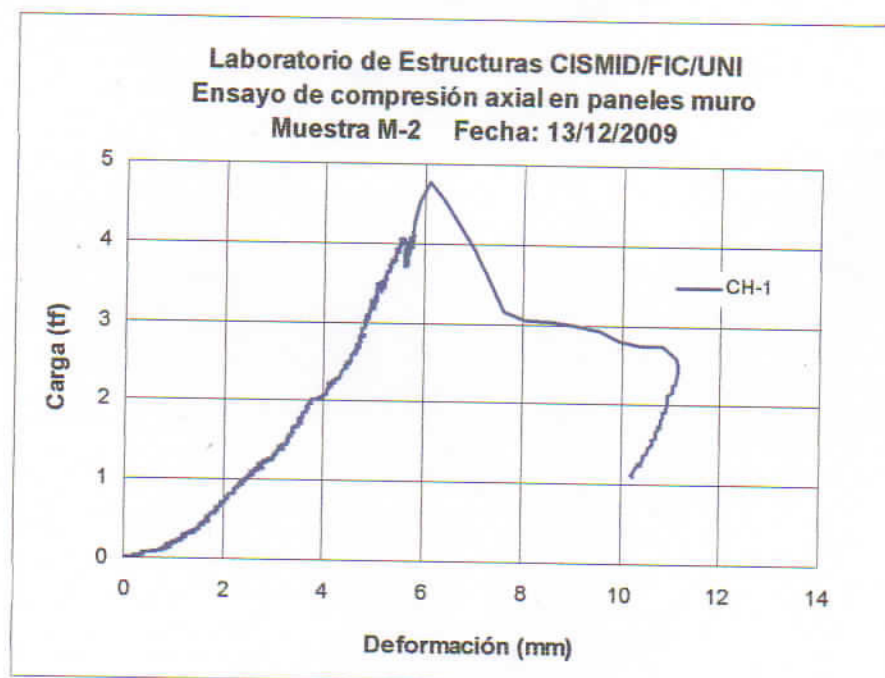


Figura 13: Curva carga-desplazamiento del panel muro M-2.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

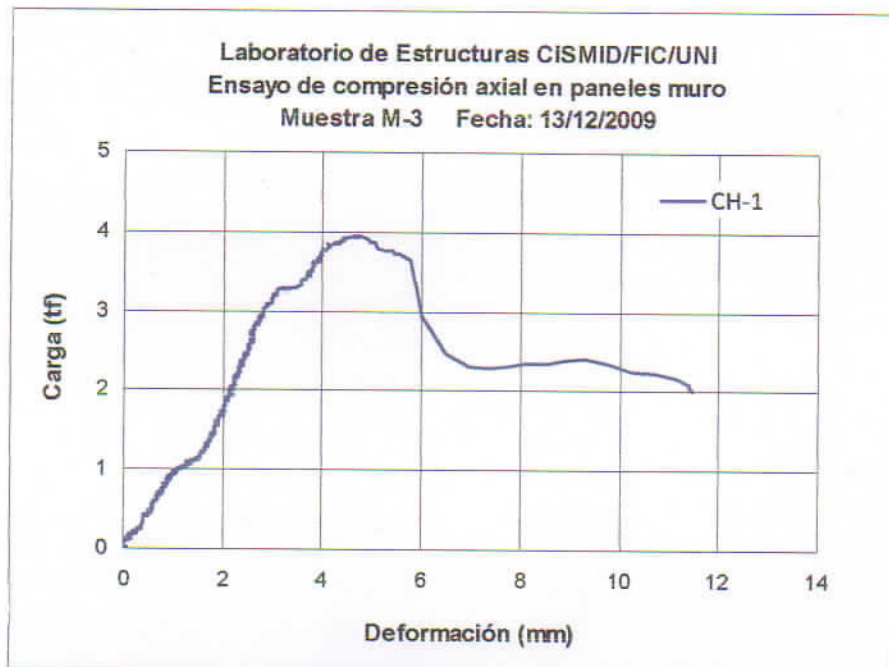


Figura 14: Curva carga-desplazamiento del panel muro M-3.

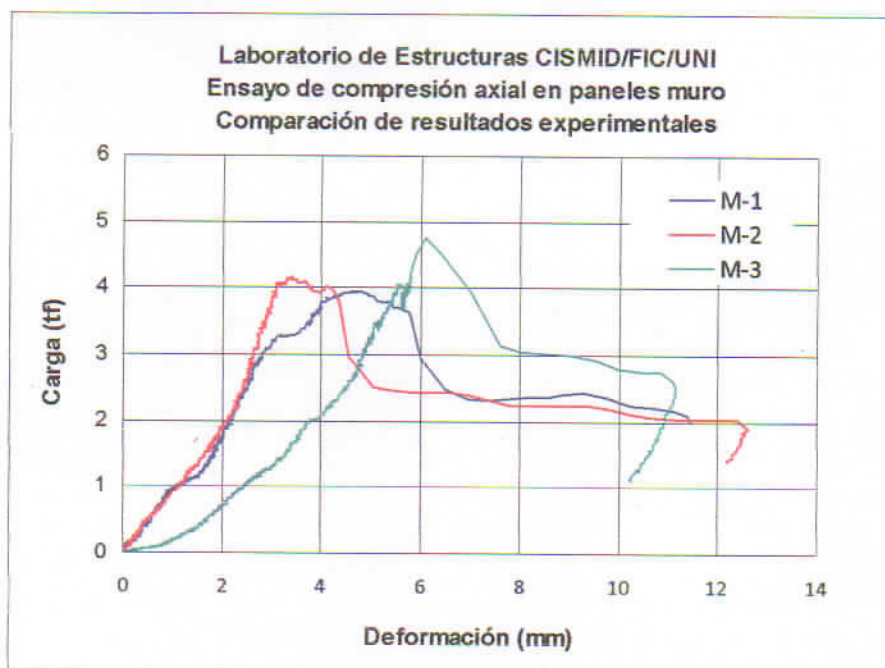


Figura 15: Comparación de las curvas de comportamiento en paneles muro.

En la Figura 15 se muestra una comparación de las curvas experimentales de los paneles sometidos a ensayos de compresión axial, donde se observa que la carga máxima promedio es 4.30tf. En la Tabla 3 se resumen las dimensiones y resultados de los ensayos de compresión axial en paneles.



Tabla 3: Resultados de los ensayos de compresión axial en paneles

ID	a cm	b cm	t cm	P _{max} tf	σ_{max} kgf/cm ²	Módulo de elasticidad kgf/cm ²
M-1	230	120	5.1	4.18	6.95	5872
M-2	230	120	5.1	4.78	7.95	5459
M-3	230	120	5.1	3.95	6.58	5655

En la Figura 16 se muestra la gráfica comparativa de las curvas de esfuerzo-deformación unitaria equivalente a las curvas mostradas en la Figura 9, con la cual es posible determinar que los especímenes presentan un esfuerzo máximo promedio de 7.17kgf/cm² y un módulo de elasticidad de 5662kgf/cm² obtenido mediante la regresión lineal matemática de los resultados en el rango elástico.

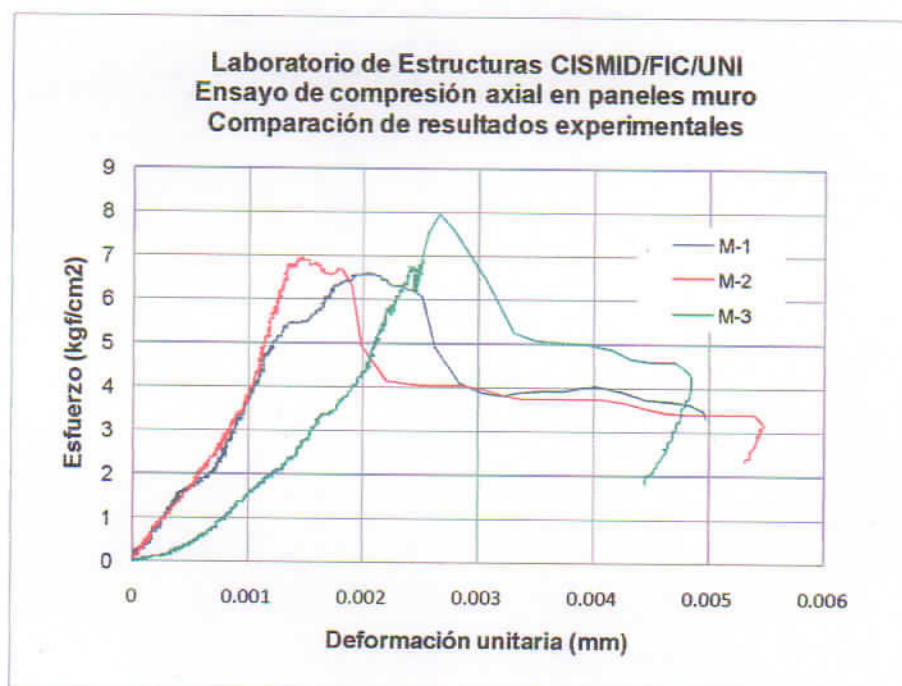


Figura 16: Comparación de las curvas esfuerzo-deformación unitaria en paneles

La falla en los paneles ocurrió por el aplastamiento en una de las esquinas superiores y el pandeo local del perfil de confinamiento en esa zona como se aprecia en la Foto 4, Foto 5 y Foto 6. Esto ocurrió por la poca cantidad de uniones entre el perfil y el panel. Los perfiles verticales se pandearon cerca a la zona de aplastamiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

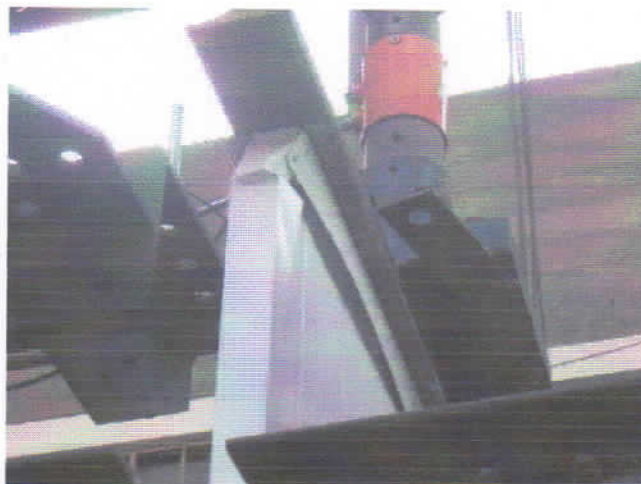


Foto 4: Aplastamiento en la esquina superior del panel muro M-1.



Foto 5: Aplastamiento en la esquina superior del panel muro M-2.



Foto 6: Aplastamiento en la esquina superior del panel muro M-3.



7. ENSAYO DE FLEXIÓN EN PANELES TECHO

7.1. Sobre el ensayo de flexión

De acuerdo a las especificaciones para sistemas de entresijos y techos se han desarrollado especímenes para ser sometidos a ensayos de flexión estática siguiendo las especificaciones ASTM C-78. Se ejecutaron 3 ensayos de flexión en paneles techo NEXCOM como se muestra en la Foto 7.



Foto 7: Ensayo de flexión de Espécimen L-01.

7.2. De los especímenes

Para la realización de los ensayos la empresa NEXCOM proporcionó 3 especímenes, los cuales se componen por poliestireno expandido (EPS) cubierto a los lados por láminas metálicas galvanizadas. Las características de estos especímenes se muestran en la Tabla 4.

7.3. Aparato de carga y sistema de medición

Para la realización de este ensayo se montó un aparato de carga con una gata hidráulica de 50tf de capacidad de carga. Esta gata hidráulica fue sujeta a un riel que transfiere la carga a dos puntos sobre la viga a través de rodillos de manera que se ubican en los tercios de la luz y siguiendo las recomendación ASTM C-78. En general, el espécimen fue apoyado sobre rodillos de acero ubicadas en los extremos a una distancia indicada como la luz libre.

Para la medición de la respuesta del espécimen se utilizó una celda de carga montada sobre el gato y un sistema de 10 transductores de desplazamiento y una celda de carga, los cuales fueron ubicados estratégicamente para medir la respuesta del espécimen frente a la demanda de carga incremental durante el ensayo. La ubicación de los sensores de desplazamiento es presentada a continuación en la Figura 17.

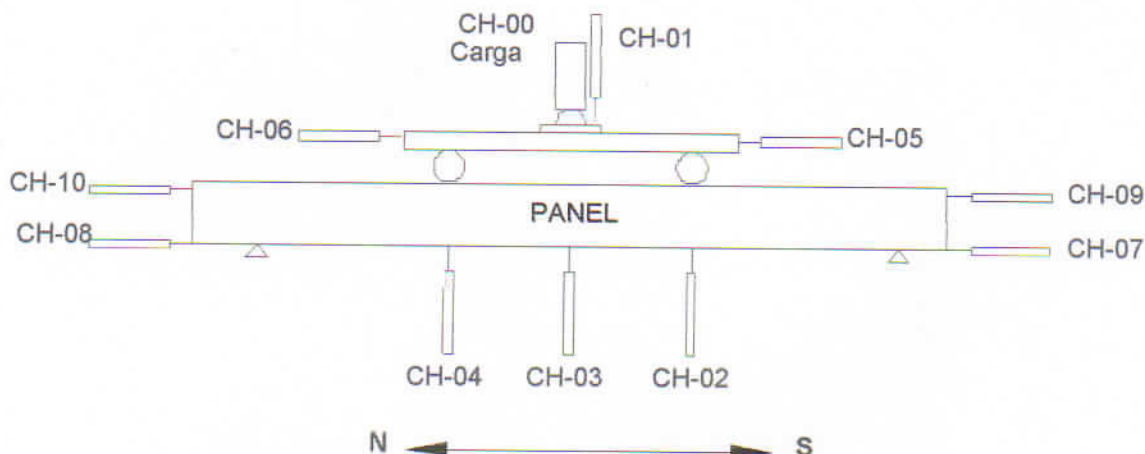


Figura 17: Distribución de canales para adquisición de datos.

Cada sensor fue conectado a un amplificador de señales que acondiciono la señal de cada sensor a los niveles requeridos para ser transformados en un convertidor análogo/digital Kyowa que introdujo las señales en el computador para ser registradas y almacenadas.

7.4. Resultados

En la Figura 18 se presenta la curva de carga – deformación central de cada espécimen para la Muestra-01, Muestra-02 y Muestra-03.

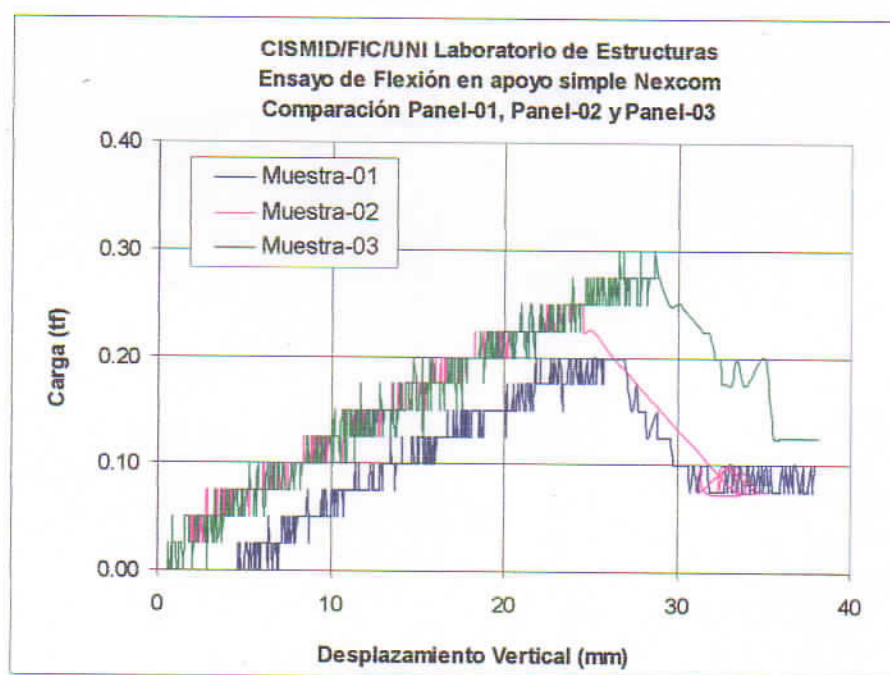


Figura 18: Curvas de comportamiento de las losas ensayadas a flexión.

Tabla 4: Resultados del ensayo de flexión.

ID	ancho mm	Luz libre mm	espesor mm	P_{\max} tf	δ_{\max} mm
Muestra-01	1060	3950	51	0.200	15.8
Muestra-02	1060	3950	51	0.250	15.8
Muestra-03	1060	3950	51	0.300	15.8

La carga máxima promedio alcanzada en los ensayos de flexión fue de 0.250tf, la cual produce un momento resistente de 0.165tf.m en el centro de la luz.

Si consideramos que la deflexión admisible para carga viva de servicio en cubiertas metálicas es de $L/250$, lo que representa una deflexión central de 16mm en el espécimen ensayado. En la curva de carga-desplazamiento mostrada en la Figura 18 se observa que esta deflexión esta dada para una carga aproximada de 0.160tf lo que equivale a una sobrecarga de 37.7kgf/m².

La falla presentada en los paneles techo en el ensayo de flexión consiste en el desprendimiento de la lámina metálica del poliestireno expandido, y la fluencia de la lámina metálica galvanizada. En la Foto 8 se muestran el estado final de los especímenes ensayados a flexión.



a. Muestra-01



b. Muestra-02



c. Muestra-03

Foto 8: Estado Final de los paneles ensayados.

8. ENSAYO CÍCLICO DE CARGA LATERAL EN MURO FORMADO POR PANELES

El objetivo de este ensayo es la determinación del comportamiento estructural del conjunto panel del sistema ante condiciones críticas de fuerzas laterales generadoras de esfuerzos de corte. También en este ensayo se determina las propiedades resistentes como son la rigidez elástica y la rigidez inelástica. Asimismo los valores de la carga máxima elástica y la carga última de resistencia del muro formado por tres paneles. Este ensayo muestra el patrón de fallas ante un patrón predeterminado de deformaciones y la evolución del mismo. Asimismo, los desplazamientos y distorsiones laterales serán medidos para proponer límites de distorsión para el sistema. Se experimentaron un total de 3 muros los cuales fueron proporcionados por NEXCOM.



8.1. DIMENSIONES DEL ESPÉCIMEN MURO

El personal contratado por NEXCOM construyó un muro de dimensiones 2400mm de altura, 3450mm de ancho y 51mm de espesor conformado por tres paneles ensamblados por sus cantos machihembrados. El muro se ancló a bases de concreto de 90cm de ancho por 30cm de altura mediante pernos de expansión, la misma que se ancló contra la losa de reacción.

8.2. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS

8.2.1. DE LOS ENSAYOS

Con la finalidad de evaluar el comportamiento estructural del muro se llevaron a cabo ensayos cíclicos con carga lateral considerando diferentes niveles de distorsión angular del nivel del entrepiso, con incrementos de deriva de 1/1000 aproximadamente hasta llegar a una distorsión de 1/65.

8.2.2. MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO DE MURO

Con la finalidad de conocer el comportamiento que tiene el muro frente a acciones de carga lateral, debe utilizarse un mecano de carga e instrumentación. Para lograr este objetivo se armó un pórtico de acero que rodea al espécimen y sirve de apoyo en el caso que el espécimen falle fuera de su plano. El muro de reacción servirá como apoyo para el actuador lateral que aplicará las cargas de este tipo al muro. Para aplicar esta carga se utilizó un actuador electrohidráulico Shimadzu capaz de producir desplazamientos ± 200 mm, operando bajo un rango de cargas de ± 25 tf. El actuador electrohidráulico es controlado a través de un controlador Shimadzu 9525 y una computadora IBM a través de una tarjeta de conversión de señales de análogo/digital y digital/análogo. De esta manera las señales de comando son enviadas desde la computadora al controlador quien realiza el desplazamiento de comando.

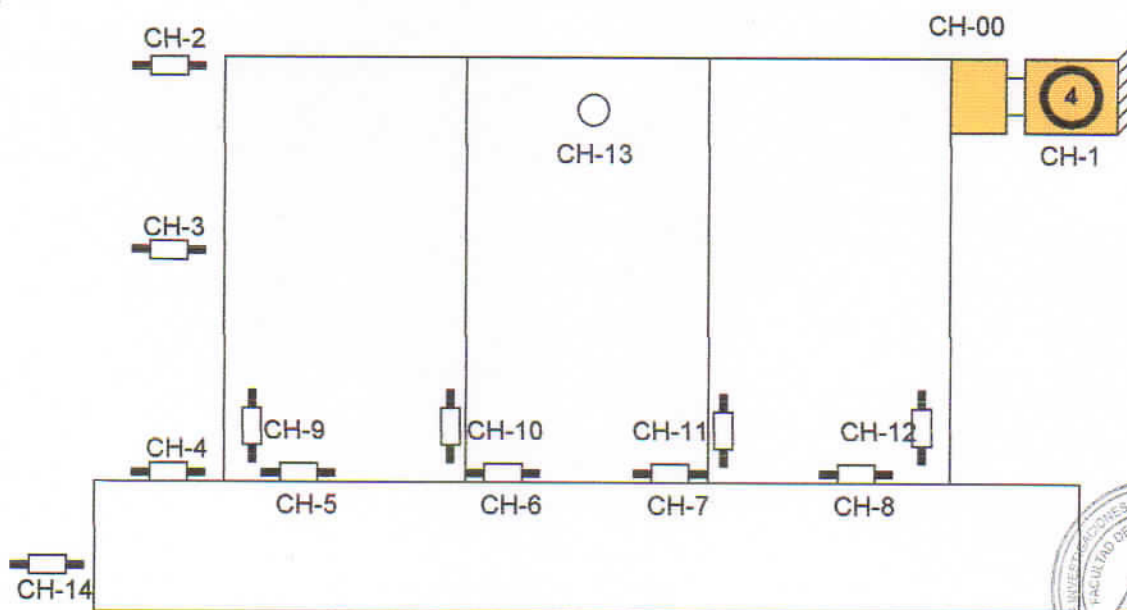


Figura 19: Distribución de sensores en el panel muro.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Para la adquisición de datos, en el caso del ensayo cíclico en muro se utilizó un sistema con 15 sensores de carga y desplazamiento conectados a un acondicionador de señales, el mismo que transfiere los datos a la computadora IBM donde se almacenan en cada paso las mediciones de los sensores.

La Figura 19 muestra la posición de los sensores en el caso del ensayo cíclico del muro. Asimismo la Tabla 5 muestra el tipo de sensor utilizado.

Tabla 5: Sensores utilizados en el ensayo cíclico.

Canales	Rango	N° Sensor	Calibración	Constante
LOAD-4	25 t	Actuador-4		+/- 5 Volts / 50 t.
STRO-4	200 mm	Actuador-4		+/- 5 Volts / 200 mm.
LOAD-2	10 t.	Actuador-2		+/- 5 Volts / 50 t.
STRO-2	200 mm	Actuador-2		+/- 5 Volts / 200 mm
CH-4	100 mm	YB7890003	2701	3.702×10^{-2}
CH-5	100 mm	YB7890007	2717	3.681×10^{-2}
CH-6	50 mm	YA6350026	2717	3.681×10^{-2}
CH-7	50 mm	YA6350038	2673	3.741×10^{-2}
CH-8	30 mm	YA6350003		3.741×10^{-3}
CH-9	30 mm	EM7840083		1.000×10^{-2}
CH-10	30 mm	EM7840088	10000	1.000×10^{-3}
CH-11	50 mm	EM7840080		1.000×10^{-4}
CH-12	50 mm	EM7840087	2866	1.000×10^{-5}
CH-13	30 mm	EM7840081		1.000×10^{-6}
CH-14	30 mm	EM7840085		1.000×10^{-7}
CH-15	10 mm	CDP-10		$0.003\# / 1.0 \times 10^{-7}$

8.2.3. METODOLOGÍA DEL ENSAYO CÍCLICO

Confinado el espécimen por una viga rígida de acero, se sometió el muro a la acción de cargas laterales aplicadas cíclicamente a través de un actuador electrohidráulico de 200mm de carrera del émbolo y actuando bajo un rango de cargas de 5tf.

Con la finalidad de medir los desplazamientos que originan la carga lateral sobre el espécimen utilizando un sistema de medición con sensores ubicados en las posiciones señaladas en la Figura 19. Los ciclos de aplicación de carga se aplicaron tratando de llegar a los siguientes niveles de distorsión angular del muro, mostrados en la Tabla 6. Cada ciclo fue ejecutado dos veces, para obtener valores estables en la curva fuerza deformación.

Tabla 6: Patrones de Distorsión.

Número de Ciclo	Distorsión Angular
1	1/ 2700
2	1/ 1350
3	1/ 675
4	1/ 350
5	1/ 200
6	1/ 125
7	1/65





Se realizaron 3 ensayos cíclicos en especímenes de dimensiones similares de 3450mm de longitud, 2400mm de altura y 51mm de espesor. La ubicación de los sensores es ilustrada en la Figura 19.

8.3. MURO-01

Siguiendo el patrón de distorsiones presentado en la Tabla 6 se efectuó el ensayo cíclico del espécimen Muro-01. La Figura 20 presenta la curva histerética del muro, donde se observa que el espécimen alcanzó un desplazamiento de 12.03mm para la carga máxima de 1.886tf.

Es posible expresar la curva histerética del ensayo en términos de sus valores máximos alcanzados por ciclo, determinándose la curva de comportamiento o envolvente histerética del espécimen que se presenta en la Figura 21. Basados en la histéresis del espécimen es posible determinar la rigidez elástica y la rigidez inelástica, siendo estos valores 0.311tf/mm y 0.090tf/mm, respectivamente.

La Figura 22 presenta la curva de comportamiento en términos de esfuerzos de corte y distorsión. Puede apreciarse que el Muro-01 fue sometido a desplazamientos controlados con un comportamiento elástico hasta llegar a un desplazamiento de 3.619mm equivalente a una distorsión de 1/650, valor en que el anclaje del talón del Muro-01 comienza a ceder. Posteriormente se inicia el levantamiento de la zona del talón hasta que alcanza una distorsión de 1/200, donde se produce la falla y el muro pierde su verticalidad, llegando a un nivel de esfuerzos de 1.07kgf/cm².

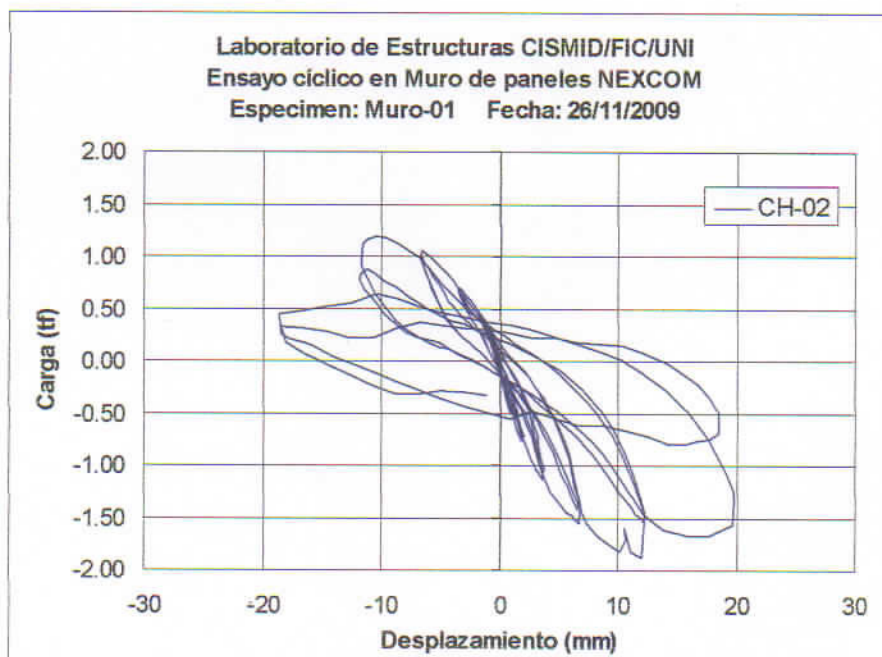


Figura 20: Curva histerética del espécimen Muro-01.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

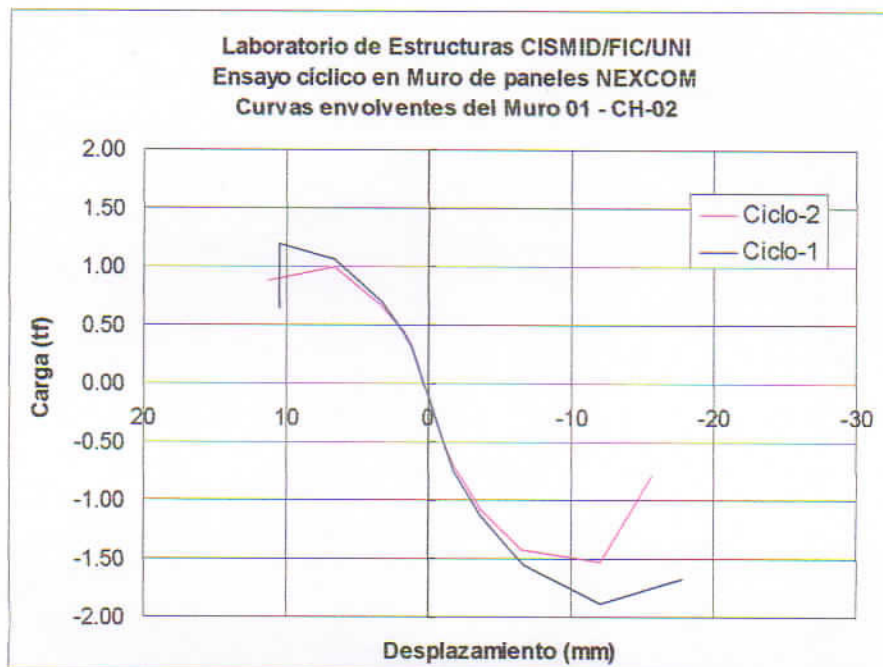


Figura 21: Curva envolvente del Muro-01.

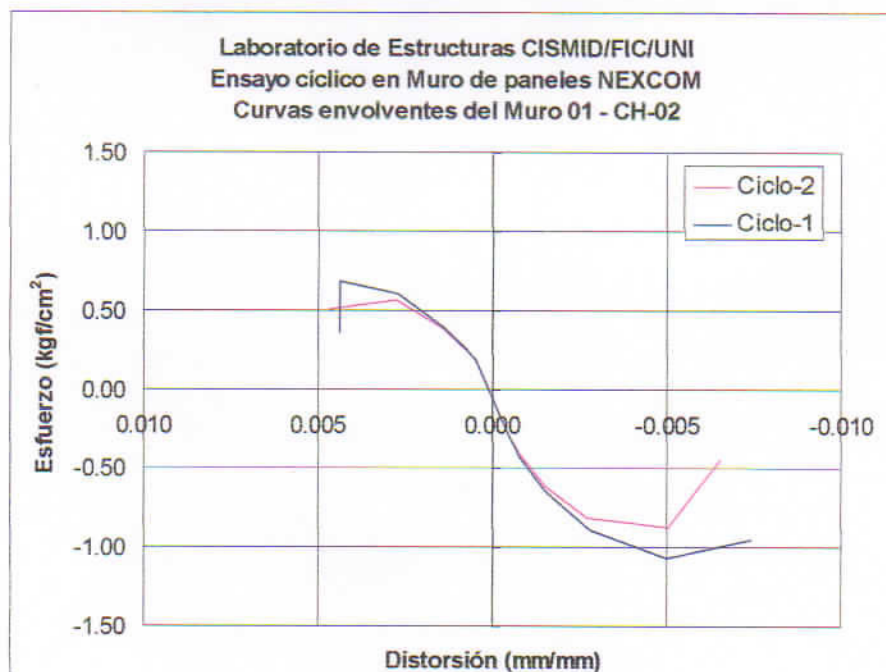


Figura 22: Curva esfuerzo-distorsión del Muro-01.



8.4. MURO-02

Siguiendo el patrón de distorsiones presentado en la Tabla 6 se efectuó el ensayo cíclico del espécimen Muro-02. La Figura 23 presenta la curva histerética del muro, donde se observa que el espécimen alcanzó un desplazamiento de 11.943mm para la carga máxima de 1.650tf.

Es posible expresar la curva histerética del ensayo en términos de sus valores máximos alcanzados por ciclo, determinándose la curva de comportamiento o envolvente histerética del espécimen que se presenta en la Figura 24. Basados en la histéresis del espécimen es posible determinar la rigidez elástica y la rigidez inelástica, siendo estos valores 0.279tf/mm y 0.078tf/mm, respectivamente.

La Figura 25 presenta la curva de comportamiento en términos de esfuerzos de corte y distorsión. Puede apreciarse que el Muro-01 fue sometido a desplazamientos controlados con un comportamiento elástico hasta llegar a un desplazamiento de 3.587mm equivalente a una distorsión de 1/650, valor en que el anclaje del talón del Muro-01 comienza a ceder. Posteriormente se inicia el levantamiento de la zona del talón hasta que alcanza una distorsión de 1/200, donde se produce la falla y el muro pierde su verticalidad, llegando a un nivel de esfuerzos de 0.94kgf/cm².

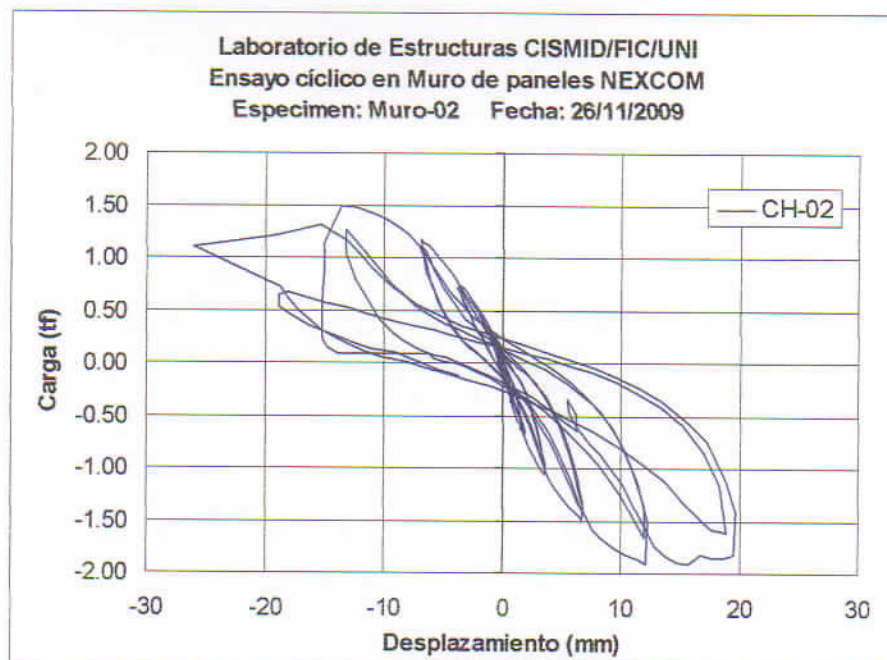


Figura 23: Curva histerética del espécimen Muro-02.

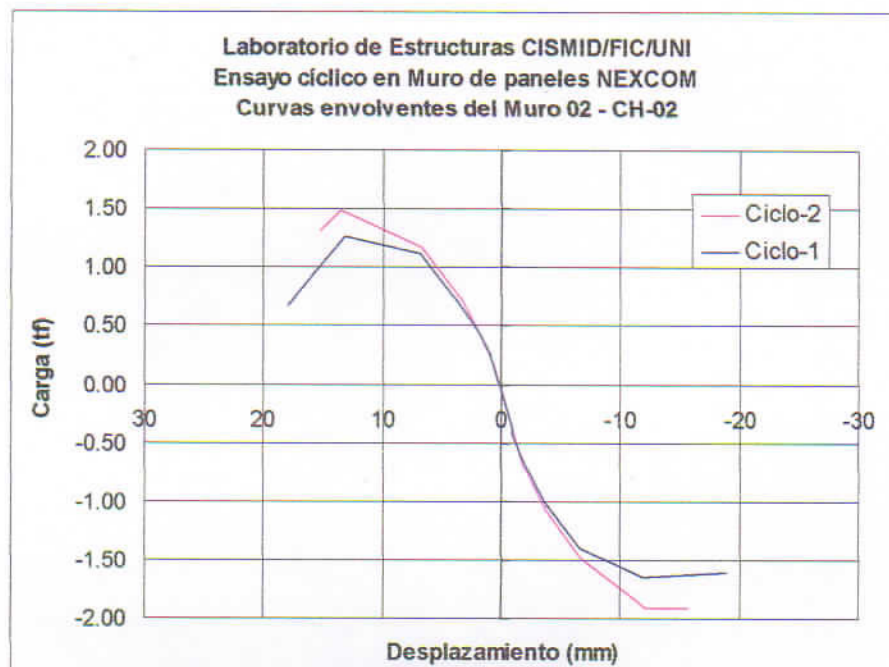


Figura 24: Curva envolvente del Muro-02.

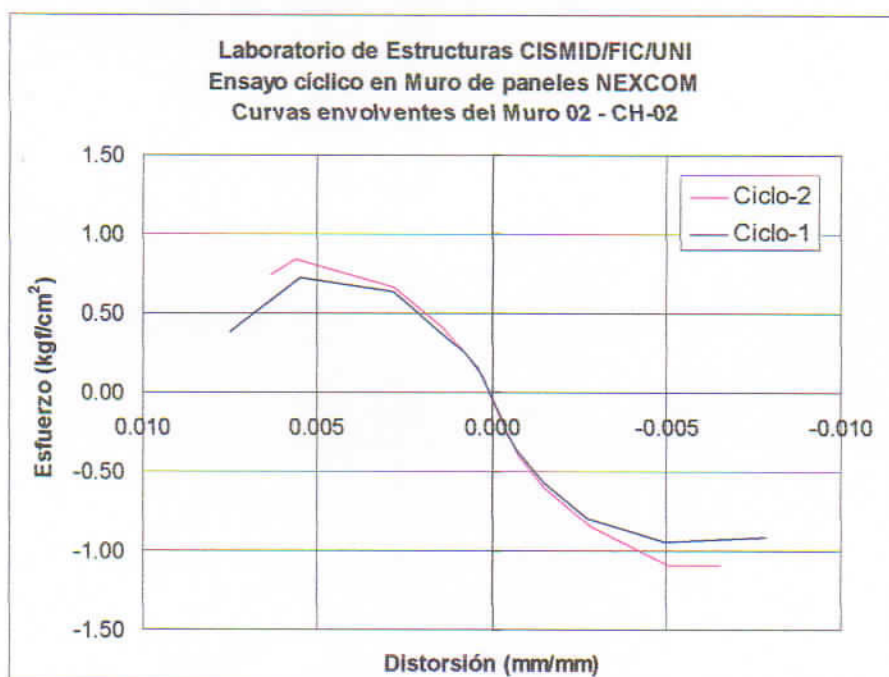


Figura 25: Curva esfuerzo-distorsión del Muro-02.

8.5. MURO-03

Siguiendo el patrón de distorsiones presentado en la Tabla 6 se efectuó el ensayo cíclico del espécimen Muro-02. La Figura 26 presenta la curva histerética del muro, donde se observa que el espécimen alcanzó un desplazamiento de 12.198mm para la carga máxima de 1.949tf.

Es posible expresar la curva histerética del ensayo en términos de sus valores máximos alcanzados por ciclo, determinándose la curva de comportamiento o envolvente histerética del espécimen que se presentada en la Figura 27. Basados en la histéresis del espécimen es posible determinar la rigidez elástica y la rigidez inelástica, siendo estos valores 0.283tf/mm y 0.109tf/mm, respectivamente.

La Figura 28 presenta la curva de comportamiento en términos de esfuerzos de corte y distorsión. Puede apreciarse que el Muro-01 fue sometido a desplazamientos controlados con un comportamiento elástico hasta llegar a un desplazamiento de 3.561mm equivalente a una distorsión de 1/650, valor en que el anclaje del talón del Muro-01 comienza a ceder. Posteriormente se inicia el levantamiento de la zona del talón hasta que alcanza una distorsión de 1/200, donde se produce la falla y el muro pierde su verticalidad, llegando a un nivel de esfuerzos de 1.11kgf/cm².

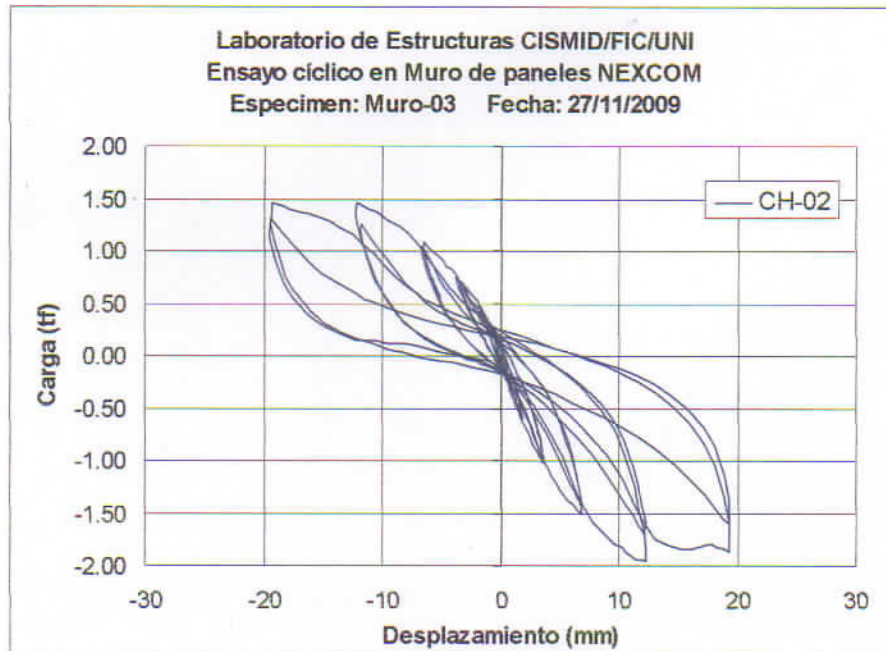


Figura 26: Curva histerética del espécimen Muro-03.

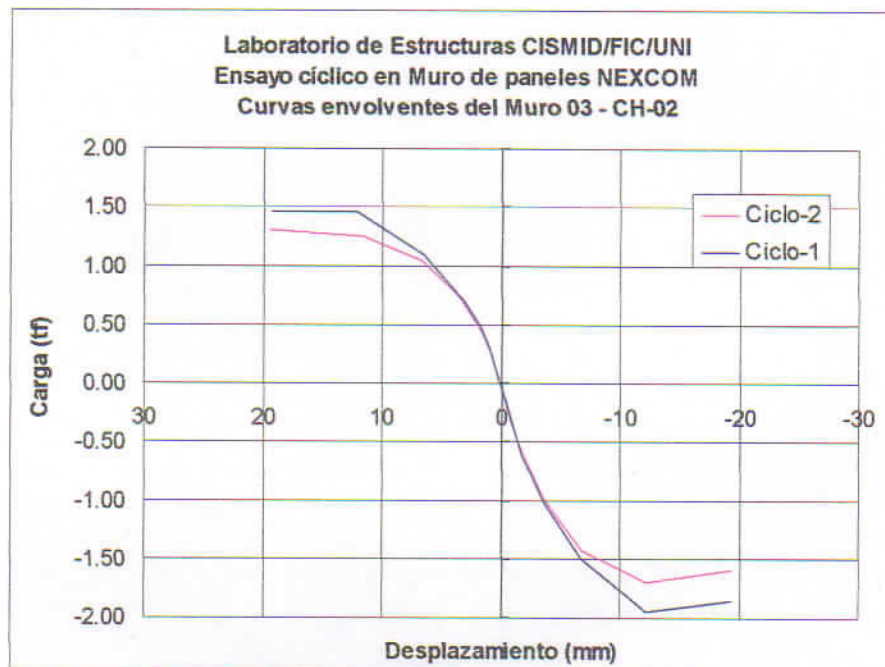


Figura 27: Curva envolvente del Muro-03.

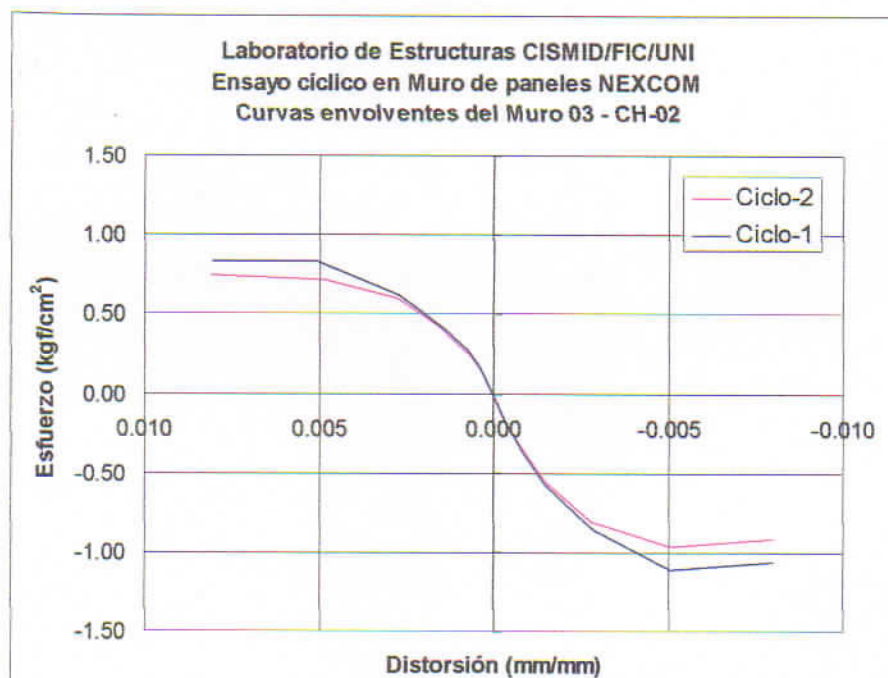


Figura 28: Curva esfuerzo-distorsión del Muro-03.

9. ENSAYO DE CARGA PERPENDICULAR A UN MURO FORMADO POR PANELES

El objetivo de este ensayo es la determinación del comportamiento estructural del conjunto panel-panel del sistema ante condiciones críticas de carga perpendicular al plano, que podría originar un volteo del elemento. También en este ensayo se determina las propiedades resistentes como rigidez, carga máxima elástica y la carga última de resistencia del muro formado por tres paneles. Este nos muestra el patrón de fallas ante un patrón predeterminado de deformaciones y la evolución del mismo. Asimismo, los desplazamientos y distorsiones laterales serán medidos para proponer límites de distorsión para el sistema. Se experimentó un muro, el cual fue construido y diseñado por el personal de NEXCOM.

9.1. ACERCA DEL ESPÉCIMEN

El espécimen sometido a carga perpendicular a su plano es de similares características a los especímenes de los ensayos cíclicos de carga lateral, el mismo que se describe en el ítem 8.1.

La carga fue aplicada considerando diferentes niveles de distorsión angular del nivel del entrepiso, con incrementos de deriva de 1/1000 aproximadamente hasta llegar a una distorsión de 1/75. Para medir la respuesta del espécimen frente al incremento de la carga perpendicular se dispusieron estratégicamente 12 sensores de carga y desplazamiento, tal como se muestra en la Figura 29.

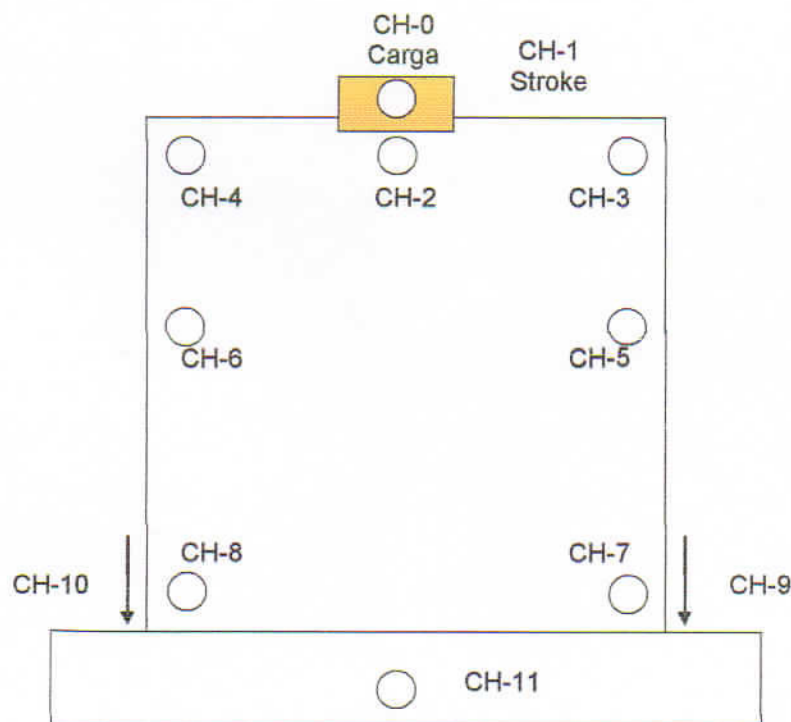


Figura 29: Distribución de sensores en el panel muro.

9.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CARGA PERPENDICULAR AL PLANO

El espécimen fue cargado incrementalmente, de manera que experimento un salto desde su carga elástica a un decremento de carga y posteriormente alcanzó una carga estable con deformación constante, como se muestra en la Figura 30. La Figura 31 muestra la distorsión originada por la carga perpendicular versus el esfuerzo de corte unitario sobre el muro.

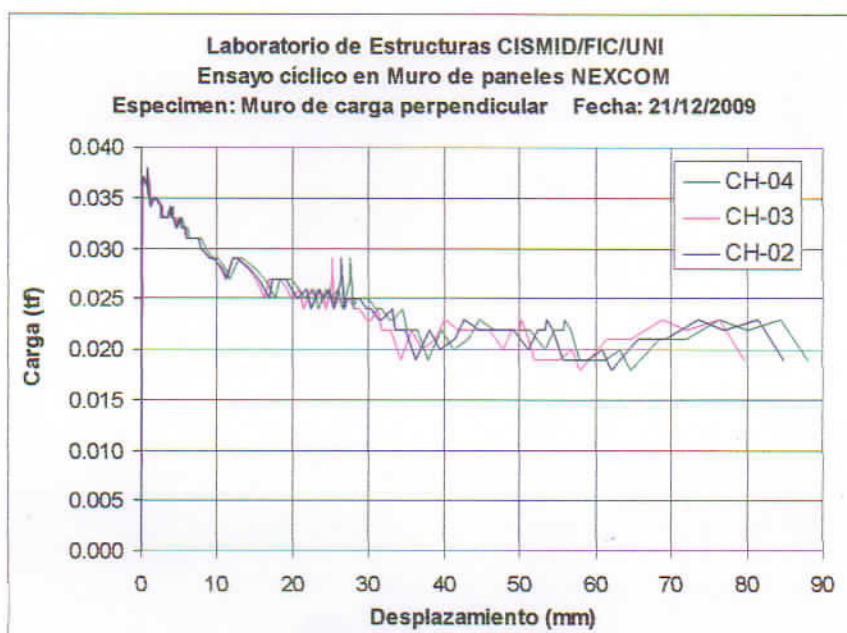


Figura 30: Carga desplazamiento fuera del plano.

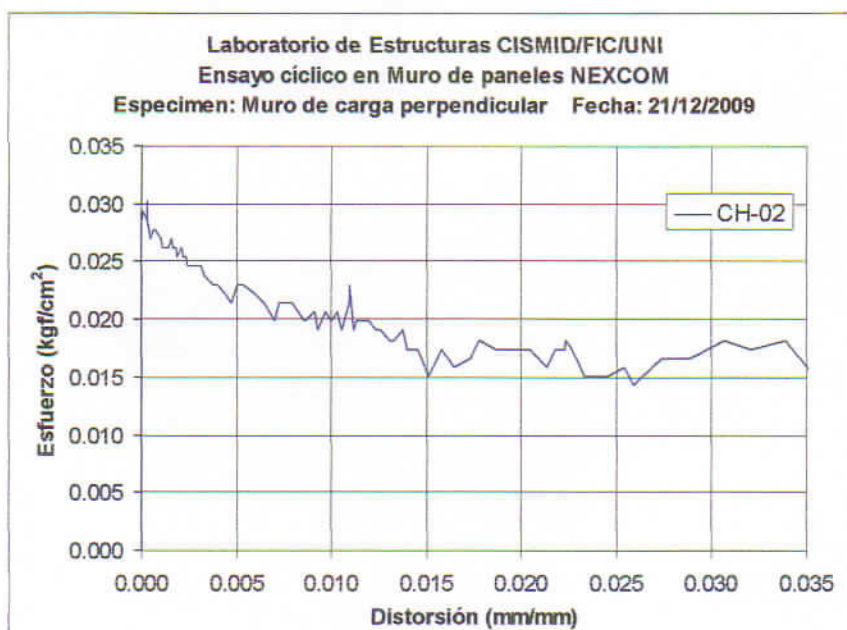


Figura 31: Distorsión versus esfuerzo unitario en muro con carga perpendicular

10. ENSAYO DE UN MÓDULO A ESCALA NATURAL

Este tipo de ensayo proporciona información acerca del comportamiento real del sistema estructural debido a la naturaleza de su escala. Permite apreciar el comportamiento de la unión de los componentes y su interacción bajo desplazamientos controlados, de esa manera es posible observar el comportamiento entre panel techo, panel - panel, panel - cimiento. Esto nos permite recomendar umbrales de deformación y carga para el módulo estructural.

10.1. ACERCA DEL ESPÉCIMEN

El espécimen simula un modulo básico de vivienda en un área de $21m^2$. Cada uno de los muros circundantes fue construido en base a los paneles NEXCOM, cuyo comportamiento fue estudiado en el ítem 8.

En la Figura 32 se muestra la configuración de los medidores de desplazamiento que serán utilizados en la captura de la respuesta del módulo frente a las cargas laterales sobre el espécimen. El módulo es sometido a desplazamientos predeterminados, similares a los usados en el ensayo de los muros, presentado en la Tabla 6 del ítem 8.

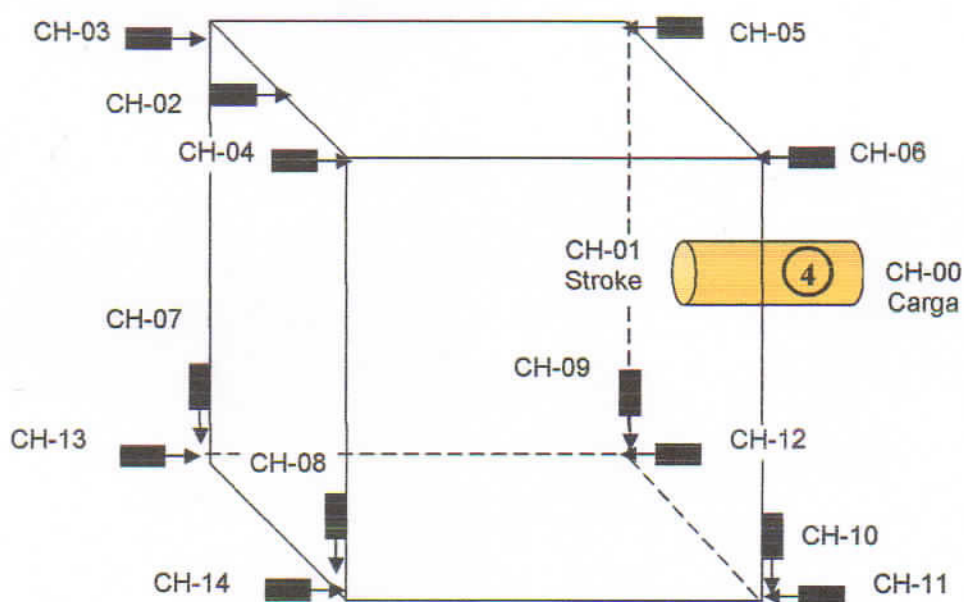


Figura 32: Distribución de sensores en el módulo.

Los sensores de deformación mostrarán la evolución de las cargas y el comportamiento del módulo a medida que se cargue secuencialmente y aparezcan cambios de su rigidez, agrietamientos y fallas.

10.2. RESULTADOS DEL ENSAYO CÍCLICO EN EL MODELO DE UN NIVEL

Con la finalidad de mostrar el comportamiento frente a cargas laterales en el módulo de un nivel se presenta en la Figura 32 los resultados del ensayo cíclico efectuado sobre el módulo. En esta figura puede apreciarse las curvas de respuesta de los sensores de deformación ubicados en la parte superior de la cara este del espécimen, denominados CH-2, CH-3 y CH-4, correspondientes a la cara este del módulo, ubicados al sur, centro y norte del espécimen.

El ensayo cíclico del módulo, se efectúa siguiendo el procedimiento mostrado en el ítem 8.2.3. La Figura 32 presenta las curvas históricas en los canales CH-2, CH-3 y CH-4 que representan el desplazamiento a nivel del entrepiso del espécimen, en donde se alcanzaron desplazamientos de 18.149mm, 9.244mm y 10.994mm en los respectivos sensores, para la carga máxima del módulo de 4.216tf.

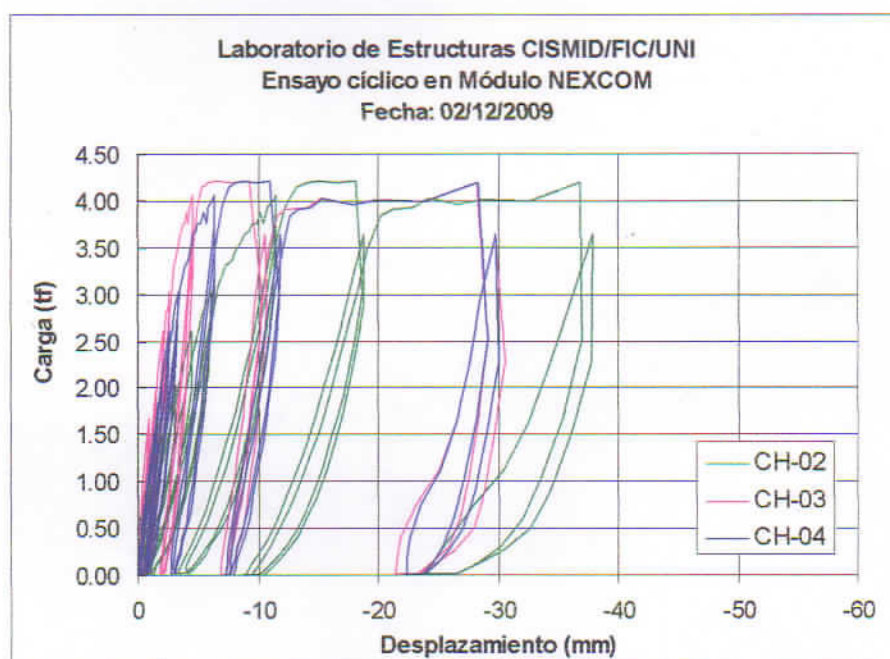


Figura 32: Curva histérica carga-deformación del Módulo de 1 nivel

Es posible expresar la curva histérica del ensayo en términos de sus valores máximos alcanzados por ciclo, determinándose la curva de comportamiento o envolvente histérica del espécimen que se presentada en la Figura 33. Basados en la histéresis del espécimen es posible determinar la rigidez elástica y la rigidez inelástica, siendo estos valores 0.644tf/mm y 0.243tf/mm, respectivamente.

La Figura 34 presenta la curva de comportamiento en términos de esfuerzos de corte y distorsión. Puede apreciarse que el Módulo fue sometido a desplazamientos controlados con un comportamiento elástico hasta llegar a un desplazamiento de 3.152mm equivalente a una distorsión de 1/750, valor en que el anclaje del talón del Módulo comienza a ceder. Posteriormente se inicia el levantamiento de la zona del talón hasta





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



que alcanza una distorsión de 1/200, donde se produce la falla y el muro pierde su verticalidad, llegando a un nivel de esfuerzos de 1.22 kgf/cm^2 .

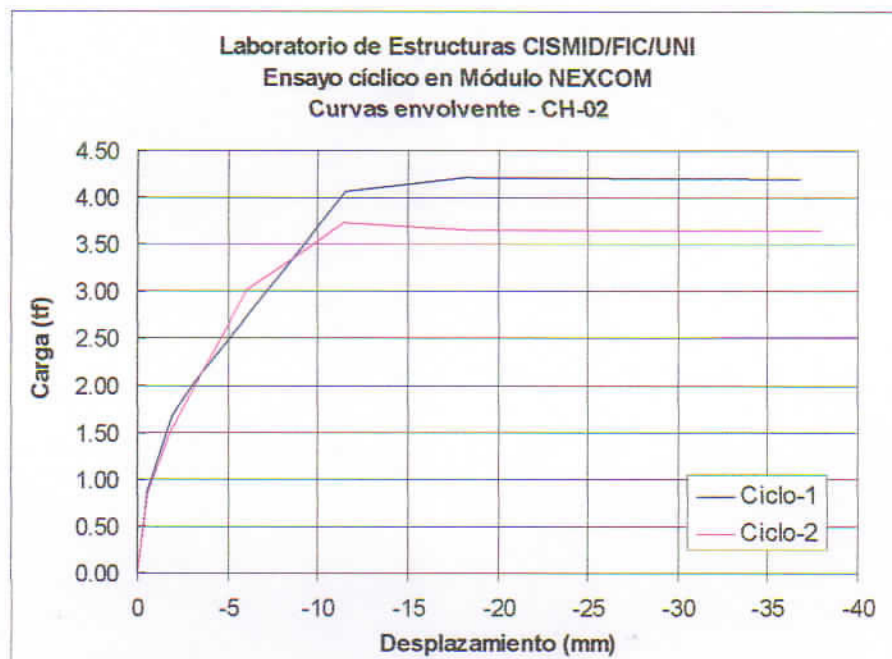


Figura 33: Curva envolvente carga-deformación del Módulo de 1 nivel

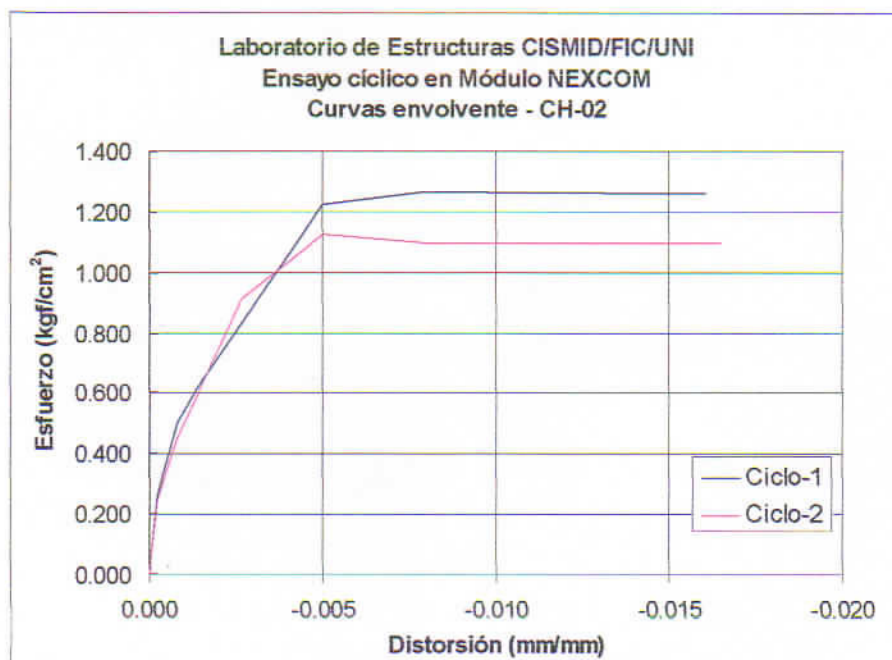


Figura 34: Curva envolvente esfuerzo-distorsión del Módulo de 1 nivel



11. ENSAYO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO

Para determinar el tiempo crítico de exposición del sistema estructural, es necesaria la ejecución de un ensayo de resistencia al fuego, a fin de asegurar a los ocupantes de una edificación el tiempo máximo de resistencia del sistema con paneles ante la eventualidad de un incendio. Los ensayos fueron ejecutados siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E-119, Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, determinándose el tiempo crítico de exposición frente a solicitaciones extremas de temperatura.

El espécimen debe ser colocado cubriendo una cámara de fuego con la finalidad de ser sometido al gradiente de temperatura, ensayándose un total de 03 especímenes de iguales características, como se aprecia en la Foto 9.



Foto 9: Ensayo de exposición al fuego.

11.1. Sobre el ensayo de exposición al fuego

La exposición al fuego de elementos estructurales es un problema de gran importancia para la seguridad de los ocupantes de la estructura y del entorno de esta, ya que la ocurrencia de un incendio afecta al edificio y a su entorno, al existir la posibilidad de propagación del fuego y originar un siniestro mayor. Considerando la seguridad de los ocupantes, es de suma importancia asegurar un tiempo de evacuación y supervivencia de la estructura de manera que a la ocurrencia de un siniestro, se pueda afirmar el tiempo máximo para una evacuación segura de los ocupantes.

Es necesario que las propiedades del material y sus ensambles compuestos sean medidos de acuerdo a una especificación bajo la acción del fuego. Esta normatividad usa una exposición de fuego controlada y a la vez severa, observándose un periodo de resistencia a la exposición al fuego antes de llegar al punto crítico o de colapso debido al fuego.



11.2. De los especímenes

Para la ejecución de los ensayos de resistencia a la exposición al fuego, se han considerado tres especímenes de características similares a los ensayados en flexión con longitudes de 1800mm de longitud, 900mm de ancho y el espesor del panel de 51mm. En la Tabla 7 se presentan las características geométricas de cada uno de los especímenes.

Tabla 7 Características de especímenes ensayados a exposición de fuego

ID	Longitud mm	Luz libre mm	Ancho mm	Altura mm	Fecha de ensayo
L-01	2800	1800	900	51	17/09/09
L-02	2800	1800	900	51	17/09/09
L-03	2800	1800	900	51	17/09/09

11.3. Procedimiento de ensayo

El espécimen debe ser colocado cubriendo una cámara de fuego donde se aplicará un gradiente de temperatura. Para tal efecto se excavó un hoyo con la longitud y ancho del espécimen, donde se colocó un quemador alimentado por combustible, lo que denominaremos cámara de fuego. Dentro del hoyo se colocaron dos sensores de temperatura (termocuplas) ubicadas simétricamente con respecto al centro del espécimen, a fin de medir la temperatura generada dentro de la cámara. El espécimen fue colocado tapando el hoyo y cargándose el espécimen incrementalmente hasta llegar a la carga de servicio. Alcanzada la carga de servicio, el espécimen fue expuesto a un gradiente de temperatura, hasta alcanzar el tiempo de exposición crítico. En la Figura 35 se muestra un esquema del ensayo de exposición al fuego. La carga de servicio sobre los especímenes fue 48kgf/m^2 siendo el desplazamiento vertical instantáneo 3mm en los dos especímenes.

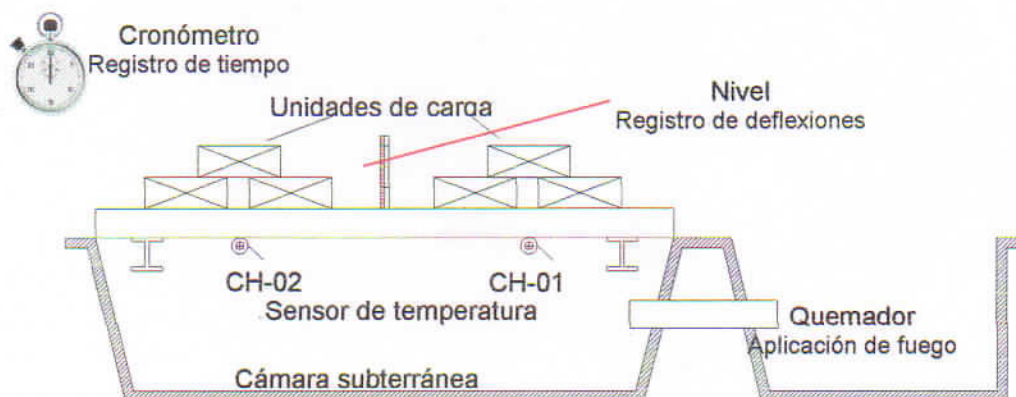


Figura 35: Esquema de ensayo de exposición de fuego

11.4. Resultados

En la Figura 36, Figura 38 y Figura se presentan las curvas de exposición a la temperatura en función del tiempo de exposición para las muestras L-01, L-02 y L-03, respectivamente. Mientras que en la Figura 37, Figura 39 y Figura 40 se muestran las curvas de desplazamiento vertical en función del tiempo producida por el incremento de calor para las muestras L-01, L-02 y L-03, respectivamente.

En la exposición al fuego del espécimen L-01 se encontró que este tipo de panel colapsa cuando alcanza los 222°C a los 19 minutos de iniciado el fuego, siendo el desplazamiento vertical de 6cm aproximadamente.

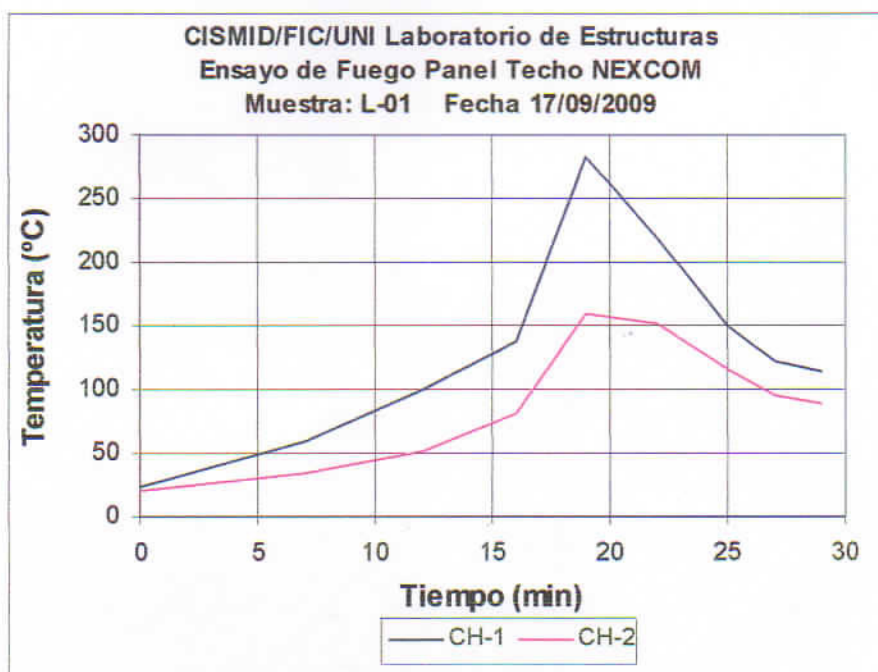


Figura 36: Gradiente de temperatura usada en el ensayo del espécimen L-01.

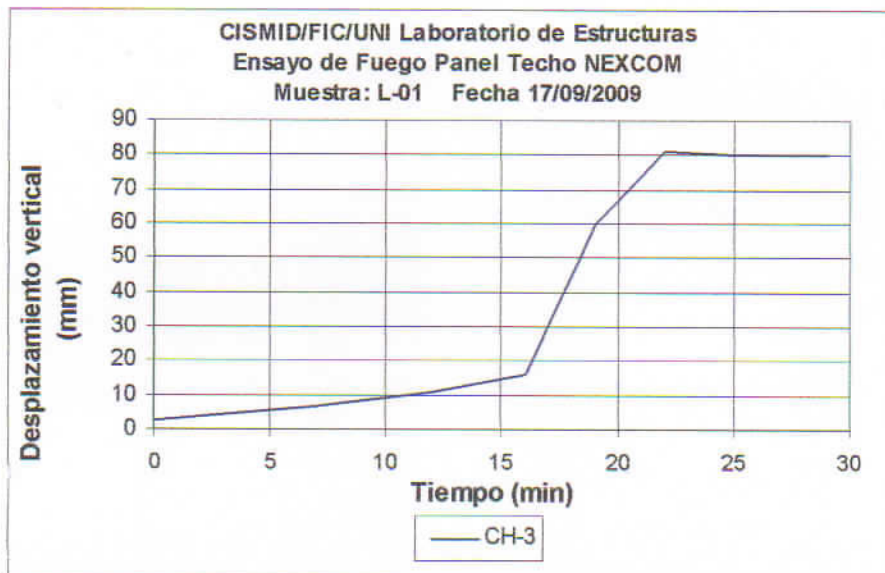


Figura 37: Curva desplazamiento vs. Tiempo del espécimen L-01.

En la exposición al fuego del espécimen L-02 se encontró que este tipo de panel colapsa cuando alcanza los 200°C a los 22 minutos de iniciado el fuego, siendo el desplazamiento vertical de 5cm aproximadamente.

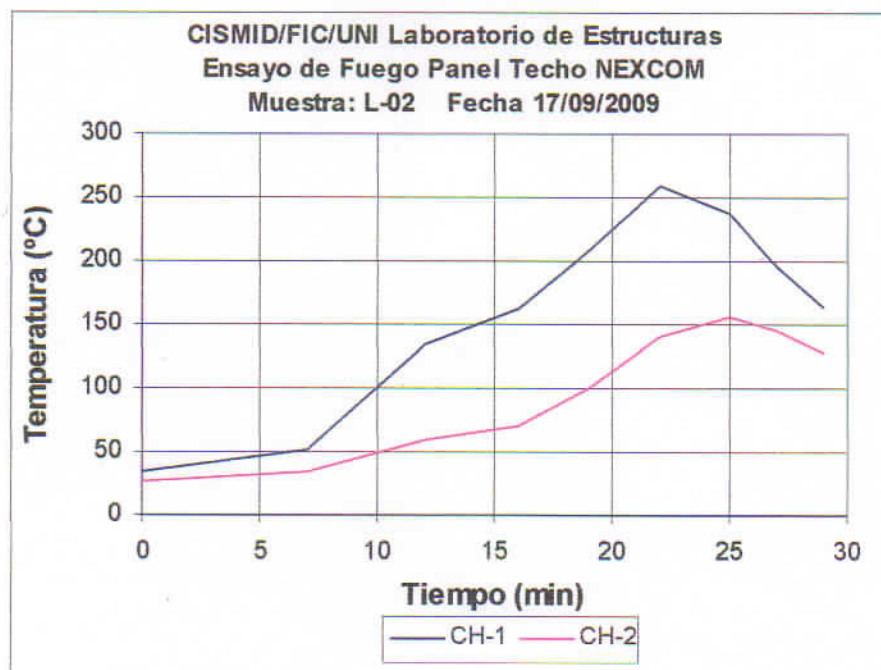


Figura 38: Gradiente de temperatura usada en el ensayo del espécimen L-02

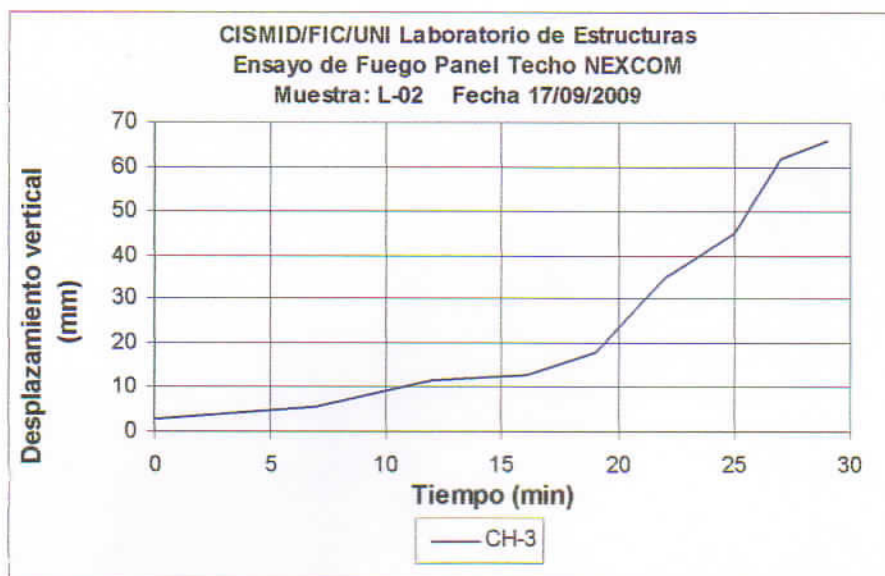


Figura 39: Curva desplazamiento vs. Tiempo del espécimen L-02.

En la exposición al fuego del espécimen L-02 se encontró que este tipo de panel colapsa cuando alcanza los 225°C a los 22 minutos de iniciado el fuego, siendo el desplazamiento vertical de 8cm aproximadamente.

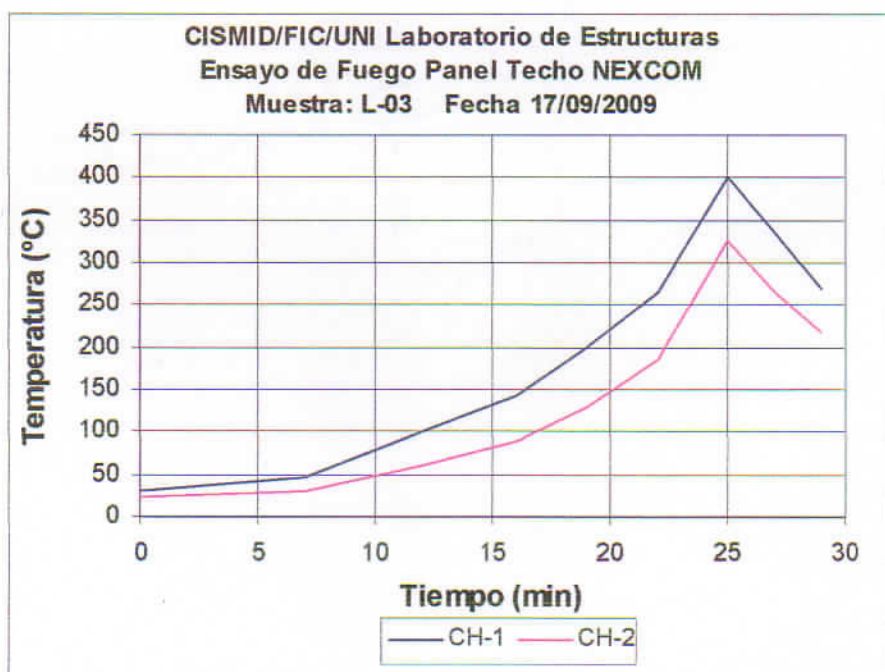


Figura 40: Gradiente de temperatura usada en el ensayo del espécimen L-03.

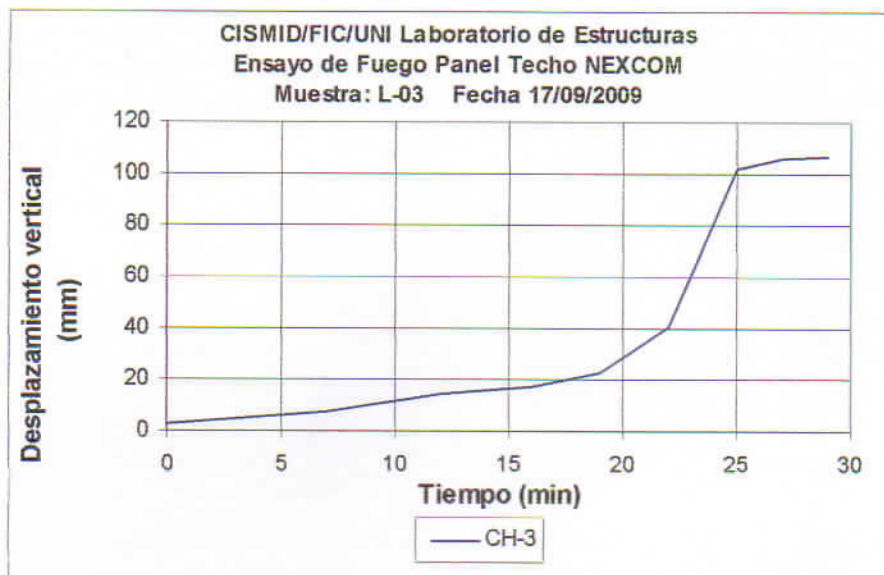


Figura 40: Curva desplazamiento vs. Tiempo del espécimen L-03.

En general este tipo de paneles funcionado como elemento techo o cobertura colapsan cuando alcanzan una temperatura de 215°C en promedio bajo condiciones de servicio. Bajo situaciones regulares esta temperatura es alcanzada aproximadamente 21 minutos de iniciado el incendio. La temperatura máxima promedio durante los ensayos es de 363°C alcanzados en los 30 minutos que duró la exposición total al fuego.

El colapso del sistema bajo condiciones de servicio (Foto 11) expuesto a una gradiente de fuego se inicia por la evaporación progresiva del poliestireno expandido que se encuentra entre las láminas metálicas del panel, como se muestra en la Foto 10, lo cual se inicia por lo general al alcanzar los 150°C de temperatura.



Foto 10: Evaporación del EPS.



Foto 11: Colapso del panel.

Otra de las características importantes de la respuesta del espécimen frente a la exposición de fuego es la pérdida de la capa de galvanizado en la superficie de contacto como se observa en la Foto 12 y la disolución del adhesivo usado para unir el EPS con las láminas metálicas como se observa en la Foto 13.

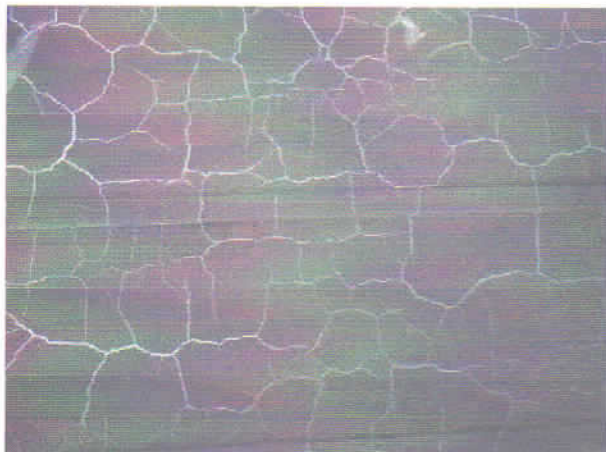


Foto 12: Desgaste del galvanizado.



Foto 13: Derretimiento del adhesivo entre EPS y láminas metálicas.

12. CONCLUSIONES

- Se realizaron ensayos de compresión axial del material EPS utilizado en paneles los paneles NEXCOM. Se encontró que la carga máxima promedio alcanzada en estos ensayos es 177kgf que es equivalente a un esfuerzo axial de 2.37kgf/cm^2 .
- Se efectuaron ensayos de compresión diagonal en muestras de poliestireno expandido encontrándose que la carga máxima promedio es 135kgf. bajo una acción que induce un corte en la diagonal. Asimismo, se determinó el esfuerzo máximo promedio a partir de los resultados experimentales, encontrándose un valor de 0.382kgf/cm^2 representativo para los paneles de EPS. Basados en una regresión matemática de los resultados en el rango elástico se determinó el módulo de corte promedio con un valor de 39kgf/cm^2 .
- Paneles de 230 cm. de largo por 120 cm. de ancho y 5.1 cm de espesor conformados por paneles de EPS y dos planchas metálicas de 0.46 mm. fueron sometidos a ensayos de compresión axial, encontrándose una carga máxima promedio es 4.30tf. Se determinó que los especímenes presentan un esfuerzo máximo axial promedio de 7.17kgf/cm^2 y un módulo de elasticidad de 5662kgf/cm^2 obtenido mediante la regresión lineal matemática de los resultados en el rango elástico. La falla en los paneles ocurrió por el aplastamiento en una de las esquinas superiores y el pandeo local del perfil de confinamiento en esa zona de la unión.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



- Paneles de 3950 mm. de largo por 1060 mm. de ancho por 51 mm. de espesor fueron sometidos a flexión siguiendo las especificaciones ASTM C-78, ejecutándose 3 ensayos de panel de techo. La carga máxima promedio alcanzada en los ensayos de flexión fue de 0.250tf, la cual produce un momento resistente de 0.165tf.m en el centro de la luz. Considerando que la deflexión admisible para carga viva de servicio en cubiertas metálicas es de $L/250$, lo que representa una deflexión central de 16mm, deflexión que se alcanza para una carga aproximada de 0.160tf lo que equivale a una sobrecarga de 37.7kgf/m^2 . La falla presentada en los paneles techo en el ensayo de flexión consiste en el desprendimiento de la lámina metálica del poliestireno expandido, y la fluencia de la lámina metálica galvanizada.
- Se realizaron ensayos de carga lateral en tres muros de 2400mm de altura, 3450mm de ancho y 51mm de espesor conformado por tres paneles ensamblados por sus cantos machihembrados. El muro se ancló a bases de concreto de 90cm de ancho por 30cm de altura mediante pernos de expansión, la misma que se ancló contra la losa de reacción. Se encontró que la carga máxima promedio sostenida por los muros alcanzó un valor de 1.83tf. para una deformación promedio de 12.05mm. La rigidez elástica promedio alcanzada fue de 0.29tf/mm. la misma que se mantuvo hasta alcanzar una distorsión de $1/650$, valor en el que los especímenes inician su deterioro e incursión en el rango inelástico con un levantamiento gradual del talón hasta alcanzar la falla del muro bajo una distorsión de $1/200$, que corresponde a un esfuerzo promedio de corte de 1.04kgf/cm^2 .
- Se ensayo un muro aplicándose carga perpendicular a su plano, conformado por tres paneles de dimensiones similares a los ensayados bajo carga lateral. Se encontró que para una deformación entre 0.015mm. a 0.025mm. se alcanza un esfuerzo estable 0.0125kgf/cm^2 con incremento de deformación indefinida.
- Con la finalidad de conocer las interacciones dadas entre elementos panel y techo, así como elemento panel – cimiento y panel - panel, se ensayo un modulo a escala natural presentado en la Figura 32. Se encontró que en los sensores CH-2 (sur), CH-3 (centro) y CH-4 (norte) que representan el desplazamiento a nivel del entrepiso del espécimen, se alcanzaron desplazamientos de 18.149mm, 9.244mm y 10.994mm para la carga máxima del módulo de 4.216tf. Pudo apreciarse que el Modulo fue sometido a desplazamientos controlados con un comportamiento elástico hasta llegar a un desplazamiento de 3.152mm equivalente a una distorsión de $1/750$, valor en que el anclaje del talón del modulo comienza a ceder. Posteriormente se inicia el levantamiento de la zona del talón hasta que alcanza una distorsión de $1/200$, donde se produce la falla y el muro pierde su verticalidad, llegando a un nivel de esfuerzos de 1.22kgf/cm^2 .
- Con la finalidad de determinar el tiempo critico de exposición frente a solicitaciones extremas de temperatura, se realizaron ensayos de resistencia al fuego, los cuales fueron ejecutados siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E-119 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Los paneles funcionan como elemento techo o cobertura colapsan cuando alcanzan una temperatura de 215°C en promedio bajo condiciones de servicio. Bajo situaciones regulares esta temperatura es alcanzada aproximadamente 21 minutos de iniciado el incendio. La temperatura máxima promedio durante los ensayos es de 363°C alcanzados en los 30 minutos que duró la exposición total al fuego. El colapso del sistema bajo condiciones de servicio expuesto a una gradiente de fuego se inicia por la evaporación progresiva del poliestireno expandido que se encuentra entre las láminas metálicas del panel, lo cual se inicia por lo general al alcanzar los 150°C de temperatura.

Lima, 10 de Marzo de 2010


Ing. Patricia Gibu Yague
Jefe del Laboratorio de Estructuras

PERSONAL ASIGNADO

- Dr. Ing. Carlos Zavala
- Msc. Miguel Díaz
- Msc. Lourdes Cárdenas
- Msc. Jenny Taira
- Téc. Larry Cárdenas
- Téc. Germán Bautista

Coordinador, ensayos, Informe.
Ensayos, Informe.
Ensayos.
Ensayos.
Instrumentación.
Mecano de carga.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



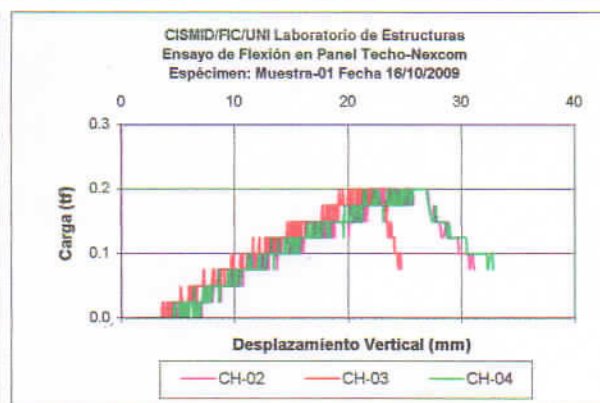
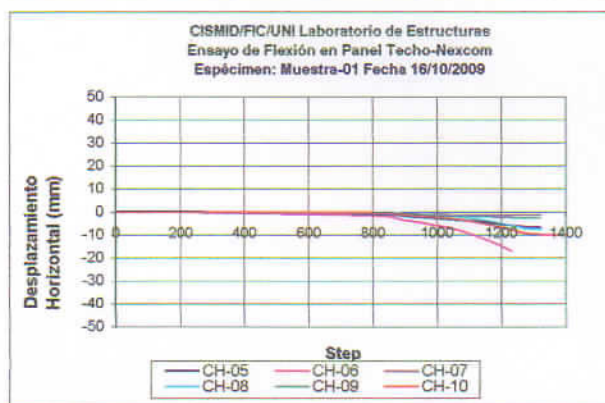
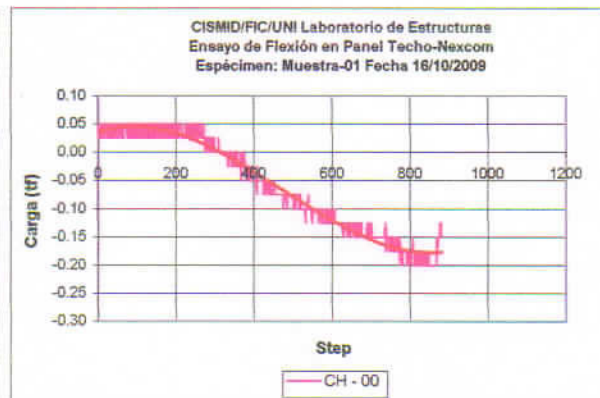
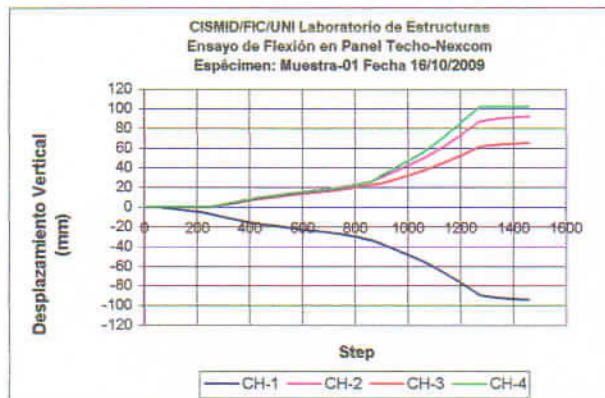
ANEXO I

CERTIFICADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



PETICIONARIO : NEXCOM
PROYECTO : ENSAYOS DE FLEXIÓN EN PANEL DE TECHO
UBICACIÓN : Laboratorio CISMID/FIC/UNI
TIPO DE ESPECIMEN: Panel de Techo Longitud: 3950 mm.
IDENTIFICACION : Muestra-01
MATERIAL : Plancha metálica + tecnopor
FECHA : 16 de Octubre de 2009

Espesor: 51.00 mm

Valores Máximos Alcanzados en el Ensayo

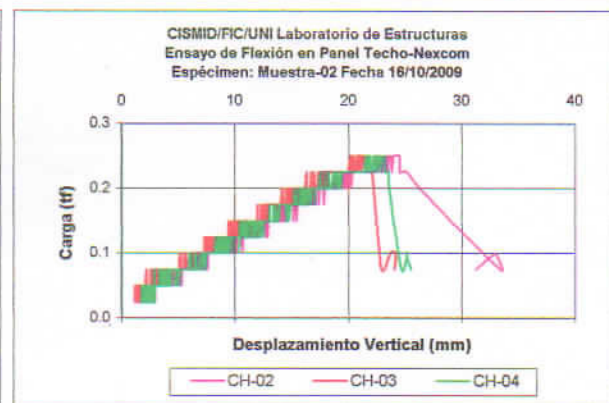
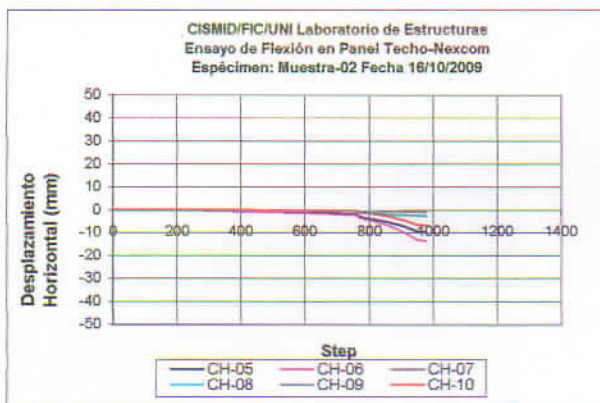
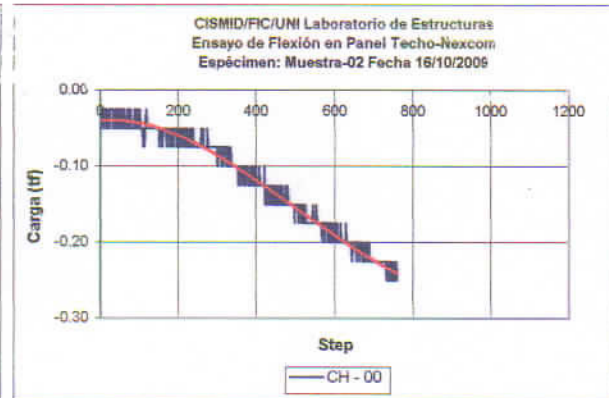
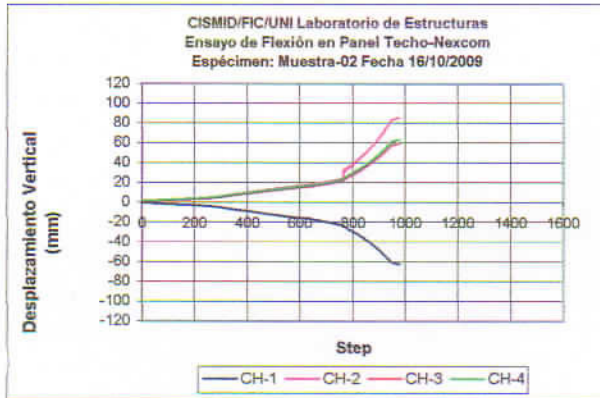
Carga (Tf)	CH-1 (mm)	CH-2 (mm)	CH-3 (mm)	CH-4 (mm)	CH-5 (mm)	CH-6 (mm)	CH-7 (mm)	CH-8 (mm)
-0.200	-93.800	92.550	65.600	102.350	-6.950	-51.200	-1.050	-7.935
	CH-9 (mm)	CH-10 (mm)						
	-2.370	-10.245						

Informe N° 08 - LE-CISMID/2010
Hecho por: CZT/LCP

Ing. Patricia Gila Yague
Jefe del Laboratorio de Estructuras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



PETICIONARIO : NEXCOM
PROYECTO : ENSAYOS DE FLEXIÓN EN PANEL DE TECHO
UBICACIÓN : Laboratorio CISMID/FIC/UNI
TIPO DE ESPECIMEN: Panel de Techo Longitud: 3950 mm.
IDENTIFICACION : Muestra-02
MATERIAL : Plancha metálica + tecnopor
FECHA : 16 de Octubre de 2009
 Espesor: 51.00 mm

Valores Máximos Alcanzados en el Ensayo

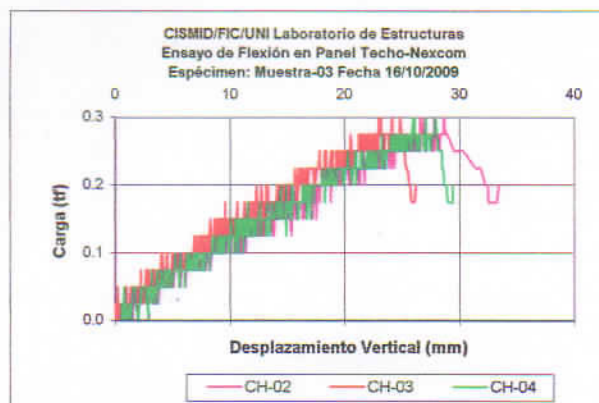
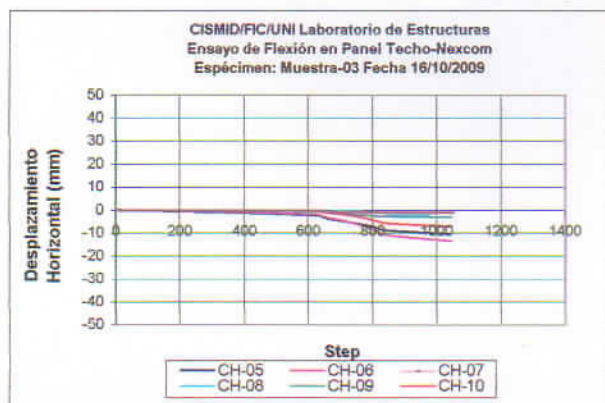
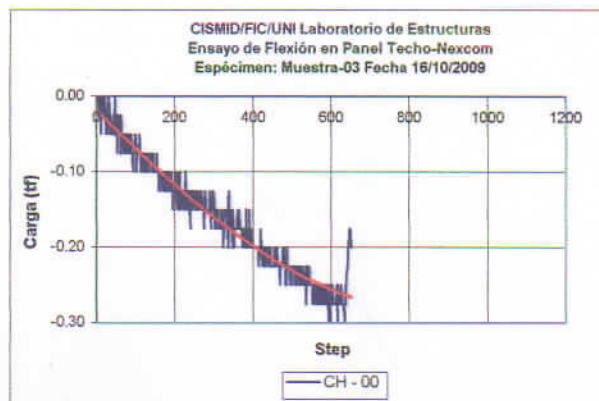
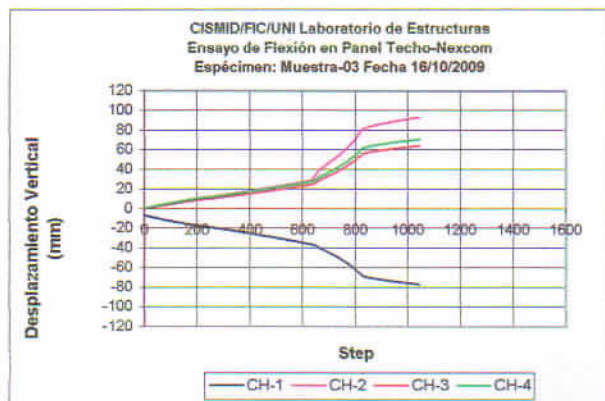
Carga (Tf)	CH-1 (mm)	CH-2 (mm)	CH-3 (mm)	CH-4 (mm)	CH-5 (mm)	CH-6 (mm)	CH-7 (mm)	CH-8 (mm)
-0.250	-62.100	85.450	59.600	63.450	-9.600	-13.500	-0.840	-2.025
	CH-9 (mm)	CH-10 (mm)						
	-2.310	-6.540						

Informe N° 08 - LE-CISMID/2010
 Hecho por: CZT/LCP

Ing. Patricia Gbu Yague
 Jefe del Laboratorio de Estructuras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



PETICIONARIO : NEXCOM
PROYECTO : ENSAYOS DE FLEXIÓN EN PANEL DE TECHO
UBICACIÓN : Laboratorio CISMID/FIC/UNI
TIPO DE ESPECIMEN: Panel de Techo Longitud: 3950 mm.
IDENTIFICACION : Muestra-03
MATERIAL : Plancha metálica + tecnopor
FECHA : 16 de Octubre de 2009

Espesor: 51.00 mm

Valores Máximos Alcanzados en el Ensayo

Carga (Tf)	CH-1 (mm)	CH-2 (mm)	CH-3 (mm)	CH-4 (mm)	CH-5 (mm)	CH-6 (mm)	CH-7 (mm)	CH-8 (mm)
-0.300	-77.050	92.750	64.150	70.900	-10.350	-13.325	-1.050	-4.860

CH-9 (mm)	CH-10 (mm)
-2.850	-7.065

Informe N° 08 - LE-CISMID/2010
 Hecho por: CZT/LCP

Ing. Patricia Sibuy Yague
 Jefe del Laboratorio de Estructuras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ANEXO II

CERTIFICADOS DEL ENSAYO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO

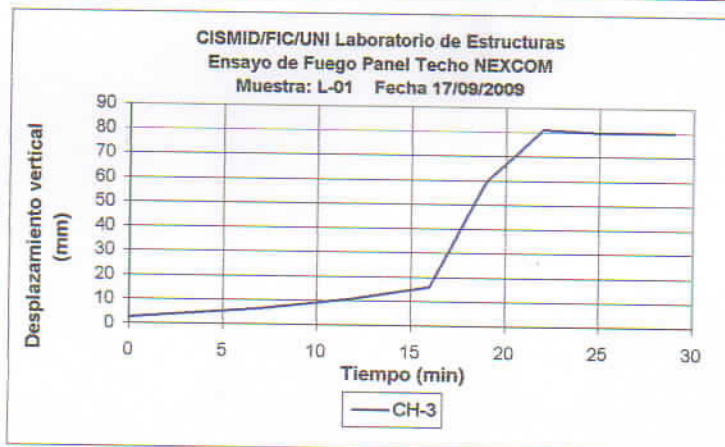
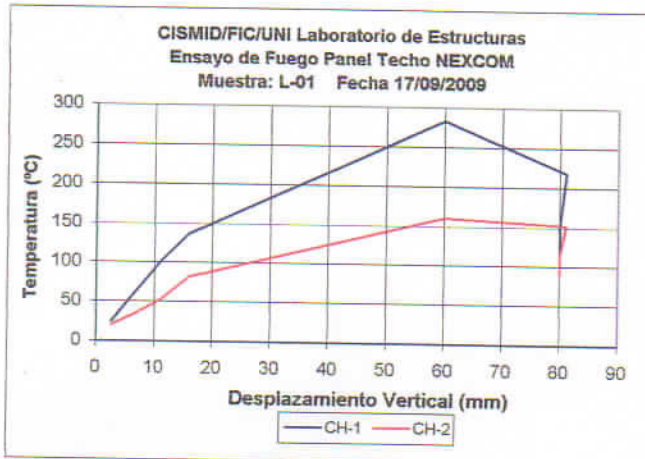
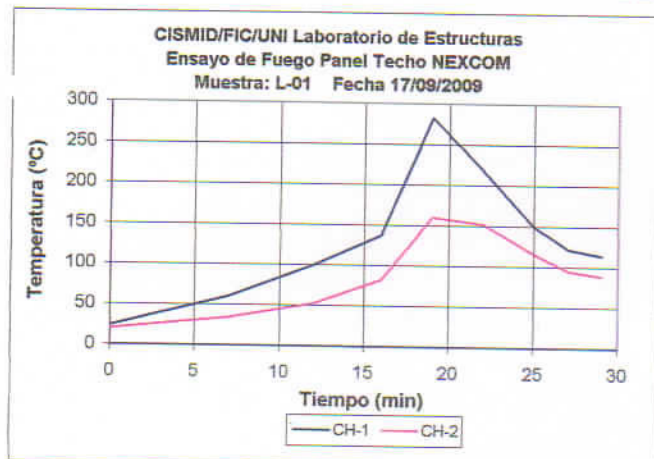




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



RESULTADOS DEL ENSAYO DE FUEGO



PETICIONARIO : EVG Inc.
PROYECTO : ENSAYOS DE LABORATORIO DE PANELES MURO Y TECHO - NEXCOM
UBICACIÓN : Laboratorio CISMID/FIC/UNI
TIPO DE PROBETA : Paneles sandwich Longitud: 1.8 m
IDENTIFICACION : L - 01
MATERIAL : Plancha metálica + tecnopor
FECHA : 17 de Septiembre de 2009

Espesor: 5.10 cm.

Valores Máximos alcanzados en el Ensayo

Sobrecarga (kg/m ²)	Tiempo (min)	CH-1 (°C)	CH-2 (°C)	CH-3 (mm)
48.15	29.00	283.00	160.00	81.00

Informe N° 08 - LE-CISMID/2010
Hecho por: CZT/MDF

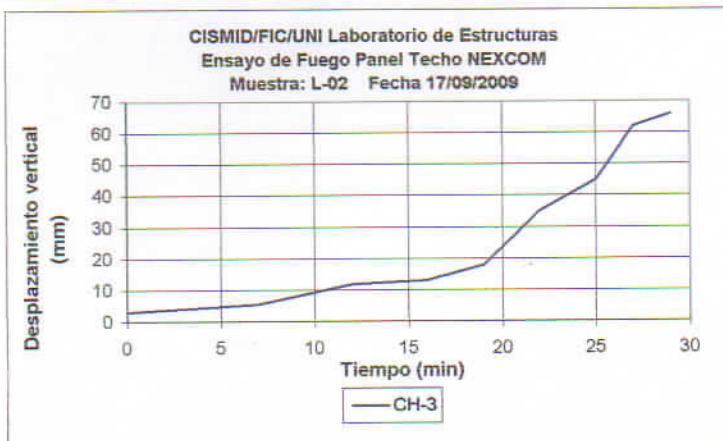
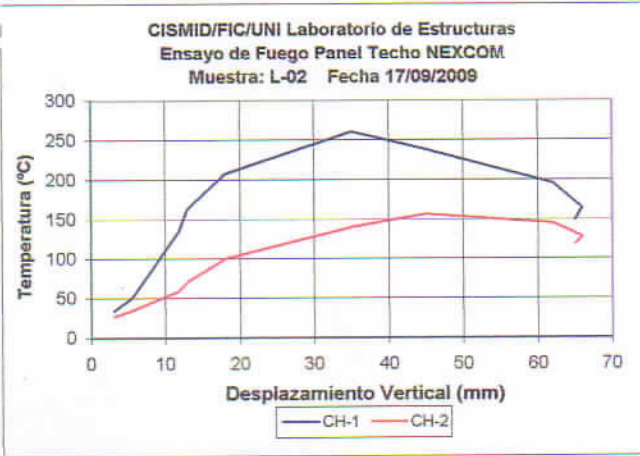
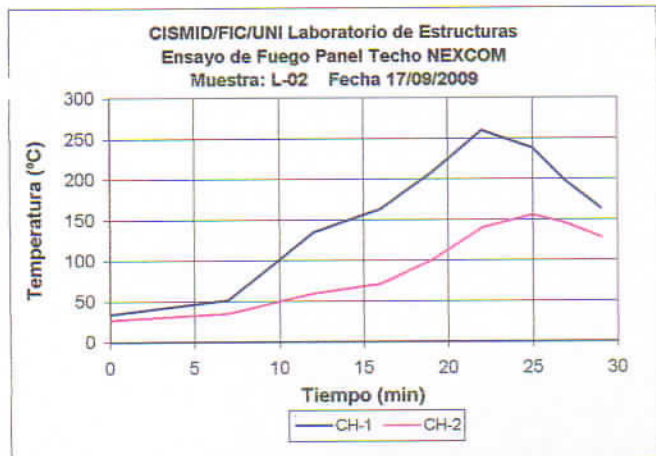
Ing. Patricia Yague
Jefe del Laboratorio de Estructuras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



RESULTADOS DEL ENSAYO DE FUEGO



PETICIONARIO : EVG Inc.
PROYECTO : ENSAYOS DE LABORATORIO DE PANELES MURO Y TECHO - NEXCOM
UBICACIÓN : Laboratorio CISMID/FIC/UNI
TIPO DE PROBETA : Paneles sandwich Longitud: 1,8 m
IDENTIFICACION : L - 01
MATERIAL : Plancha metálica + tecnopor Espesor: 5.10 cm.
FECHA : 17 de Septiembre de 2009

Valores Máximos alcanzados en el Ensayo

Sobrecarga (kg/m ²)	Tiempo (min)	CH-1 (°C)	CH-2 (°C)	CH-3 (mm)
48.15	29.00	260.00	156.00	66.00

Informe N° 08 - LE-CISMID/2010
Hecho por: CZT/MDF

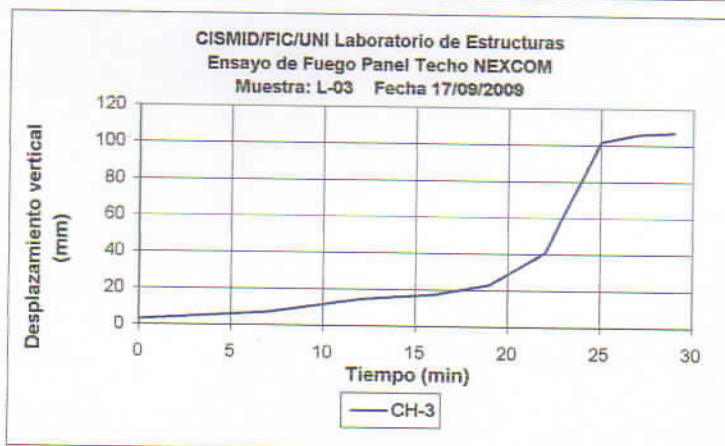
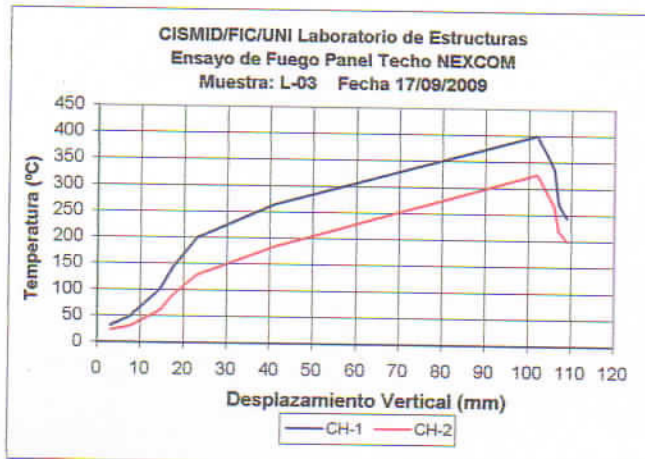
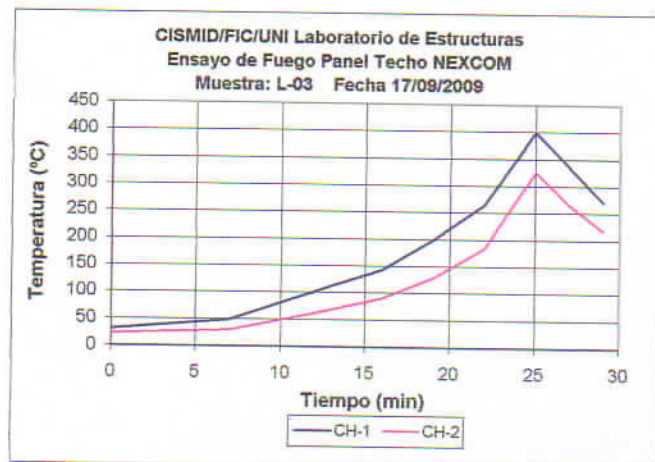
Ing. Patricia Sibuyagare
Jefe del Laboratorio de Estructuras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



RESULTADOS DEL ENSAYO DE FUEGO



PETICIONARIO : EVG Inc.
PROYECTO : ENSAYOS DE LABORATORIO DE PANELES MURO Y TECHO - NEXCOM
UBICACIÓN : Laboratorio CISMID/FIC/UNI
TIPO DE PROBETA : Paneles sandwich Longitud: 1.8 m
IDENTIFICACION : L - 01
MATERIAL : Plancha metálica + tecnopor
FECHA : 17 de Septiembre de 2009
Espesor: 5.10 cm.

Valores Máximos alcanzados en el Ensayo

Sobrecarga (kg/m²)	Tiempo (min)	CH-1 (°C)	CH-2 (°C)	CH-3 (mm)
48.15	29.00	400.00	326.00	109.00

Informe N° 08 - LE-CISMID/2010
Hecho por: CZT/MDF

Ing. Patricia Sotelo
Jefe del Laboratorio de Estructuras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ANEXO III

PANEL FOTOGRÁFICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



**ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN MUESTRAS DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO**



Ensayo de compresión axial en panel de EPS. N-01

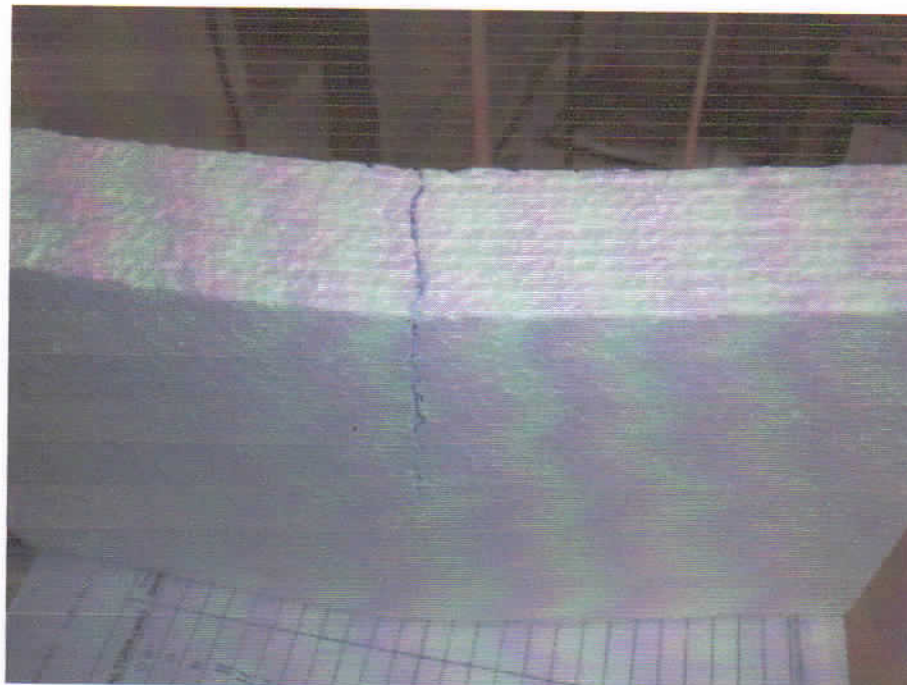


Pandeo del panel de EPS. N-03.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Falla por pandeo del panel de EPS. N-05.



Rotura del panel de EPS. N-06.

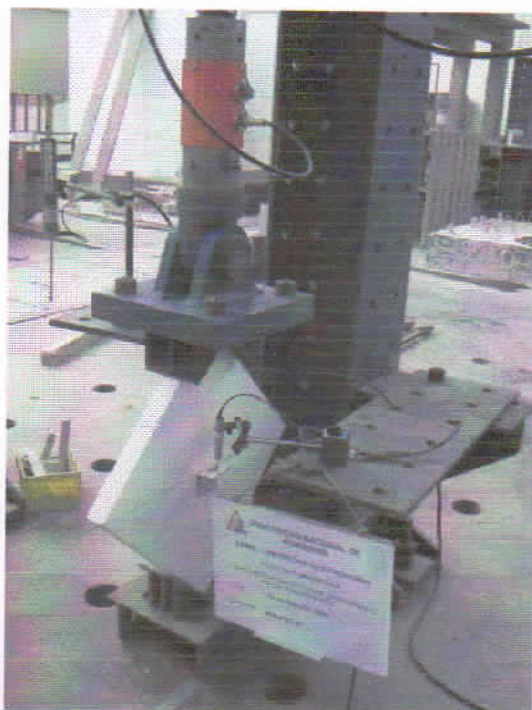




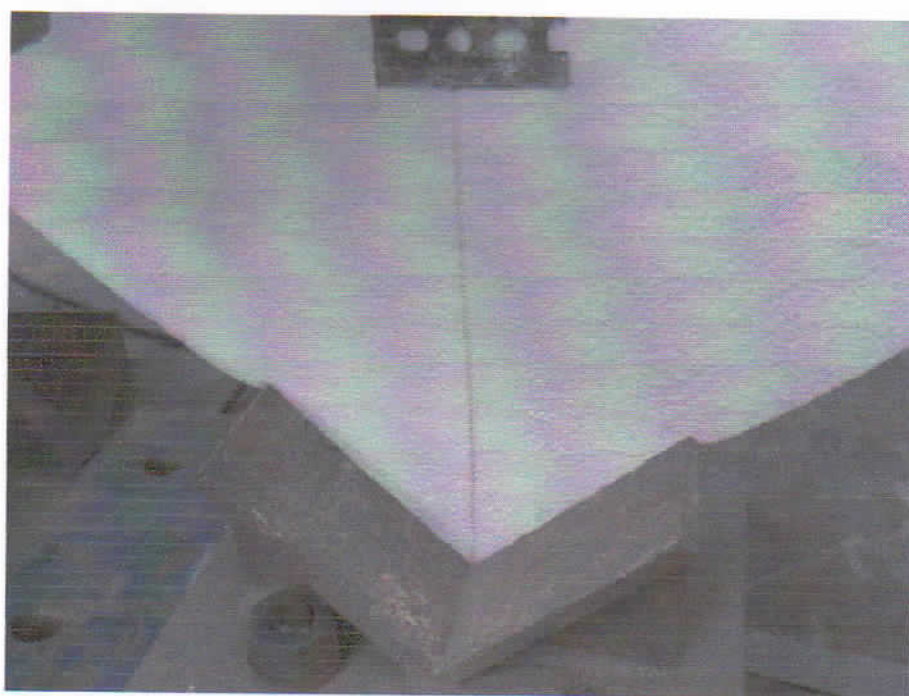
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MUESTRAS DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO



Ensayo de compresión diagonal en Muestra-01.



Aplastamiento de la Muestra-02.

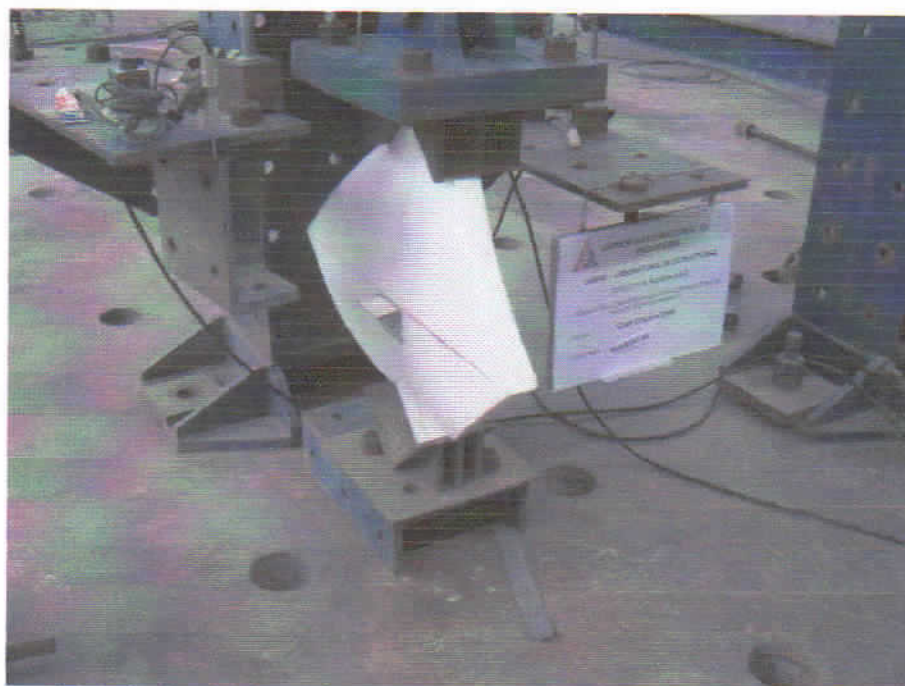




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Falla de la Muestra-04 debido al pandeo.



Estado final del espécimen ensayado a compresión diagonal.





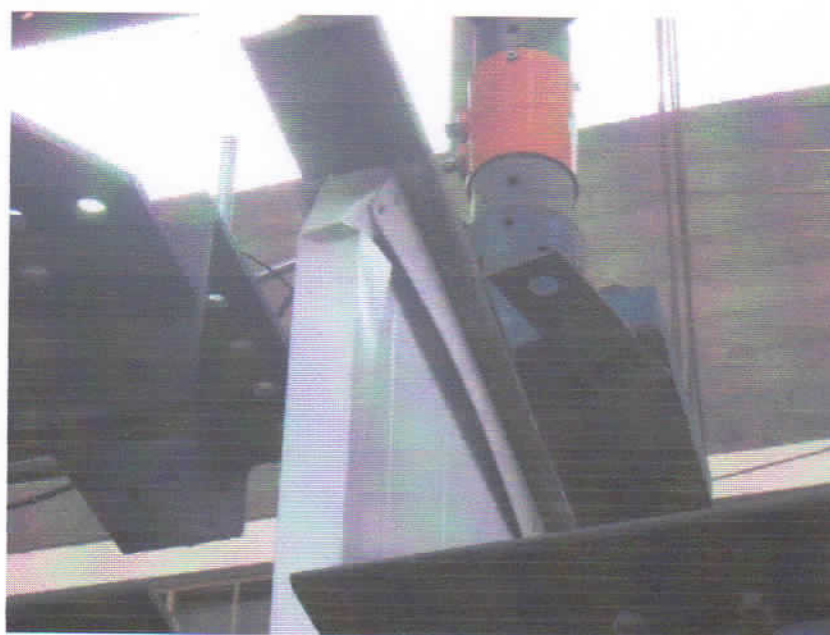
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PANELES MURO



Ensayo de compresión axial en panel muro. M-1.



Pandeo local en la conexión superior del muro M-2.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Pandeo local en la parte superior del muro M-3.



Pandeo a media altura del muro M-3.





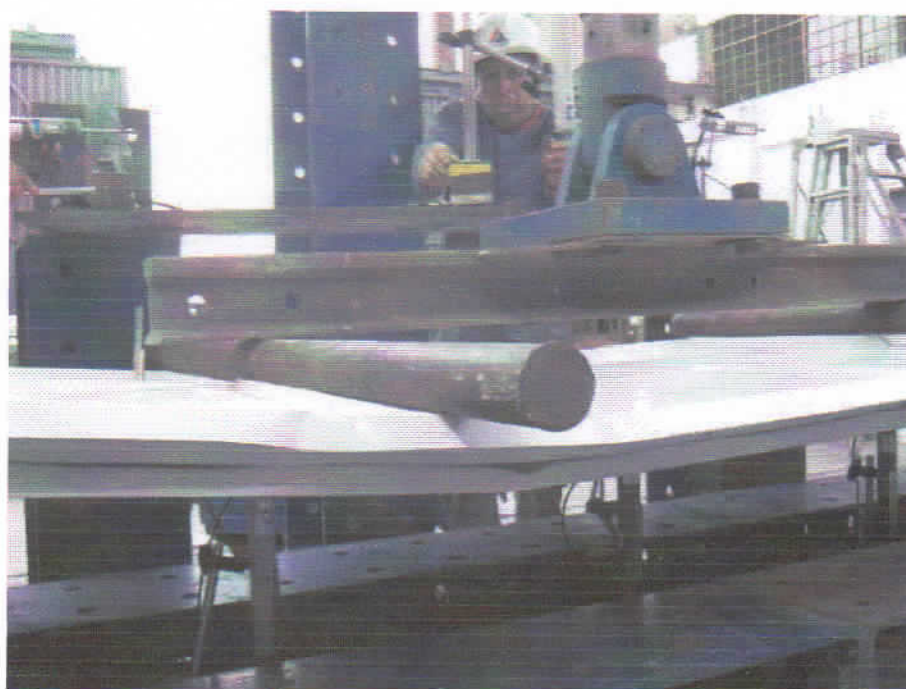
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO DE FLEXIÓN EN PANELES TECHO



Ensayo de Flexión en Muestra 01

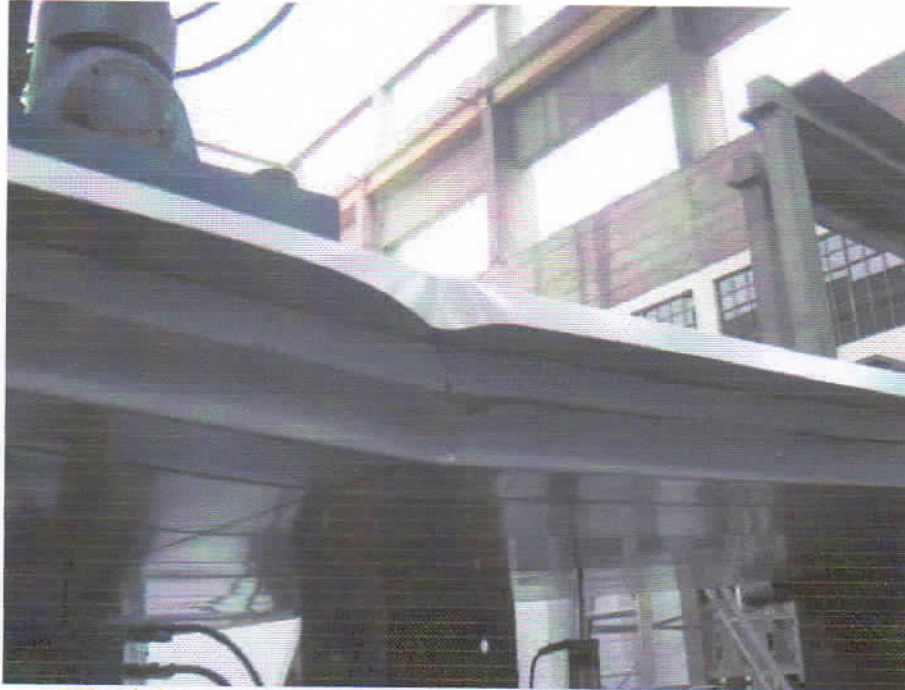


Estado final de la Muestra 02.

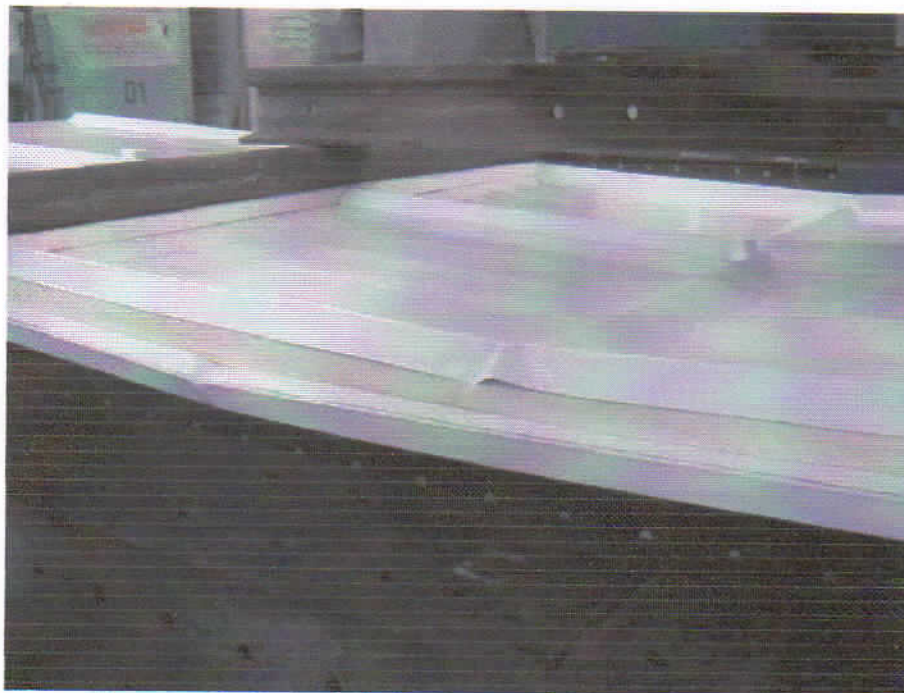




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Espécimen con cizallamiento en el poliestireno expandido.



Desprendimiento de la lámina metálica en ambas caras.





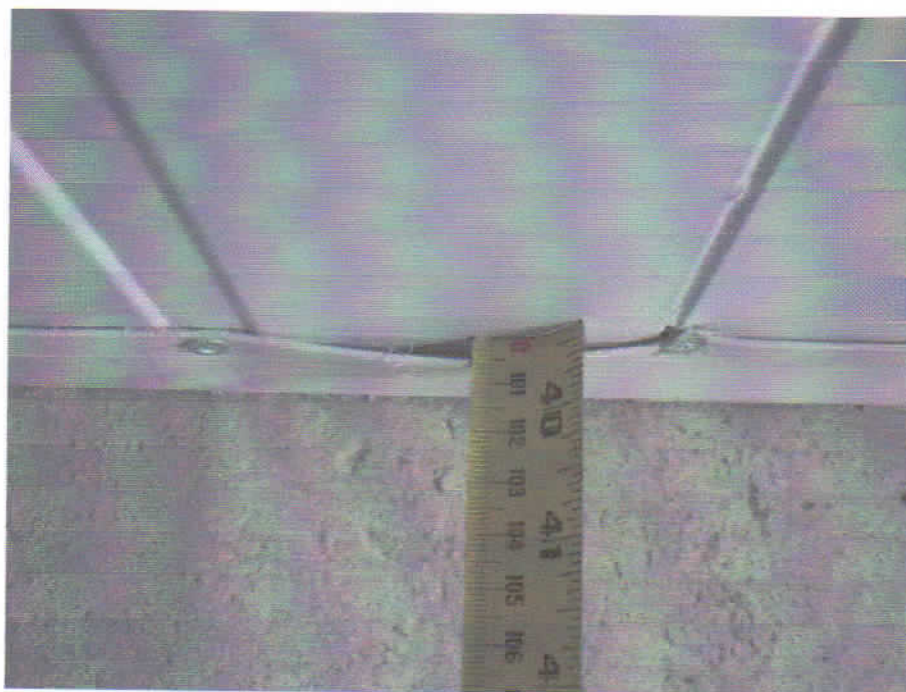
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO CÍCLICO DE CARGA LATERAL EN MURO FORMADO POR PANELES



Distorsión 1/2700 en el Muro-01.



Distorsión 1/200: Deformación del perfil en le Muro-01.

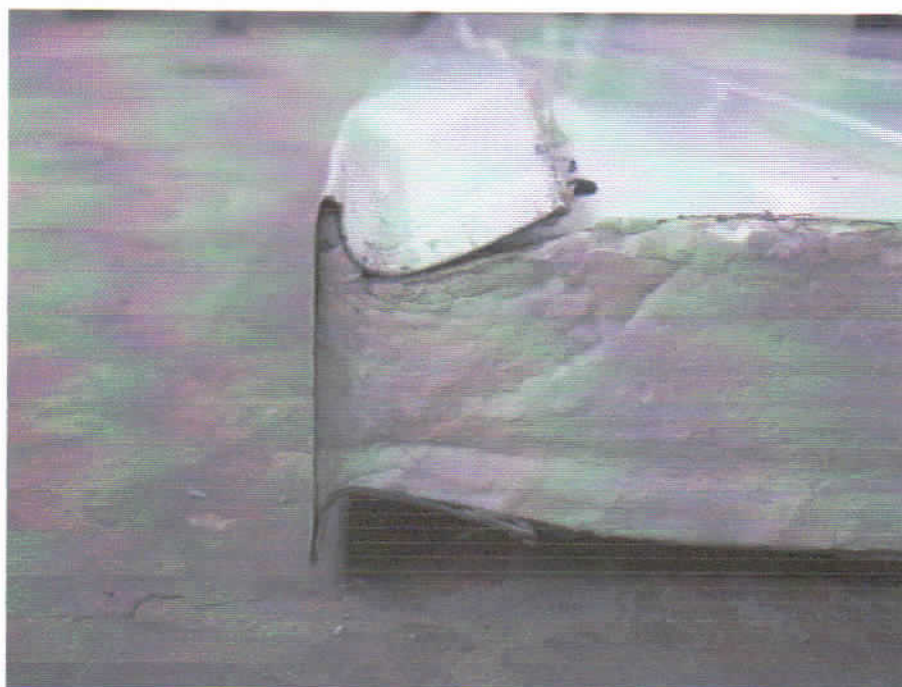




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Distorsión 1/350: Levantamiento del talón del panel en el Muro-02.

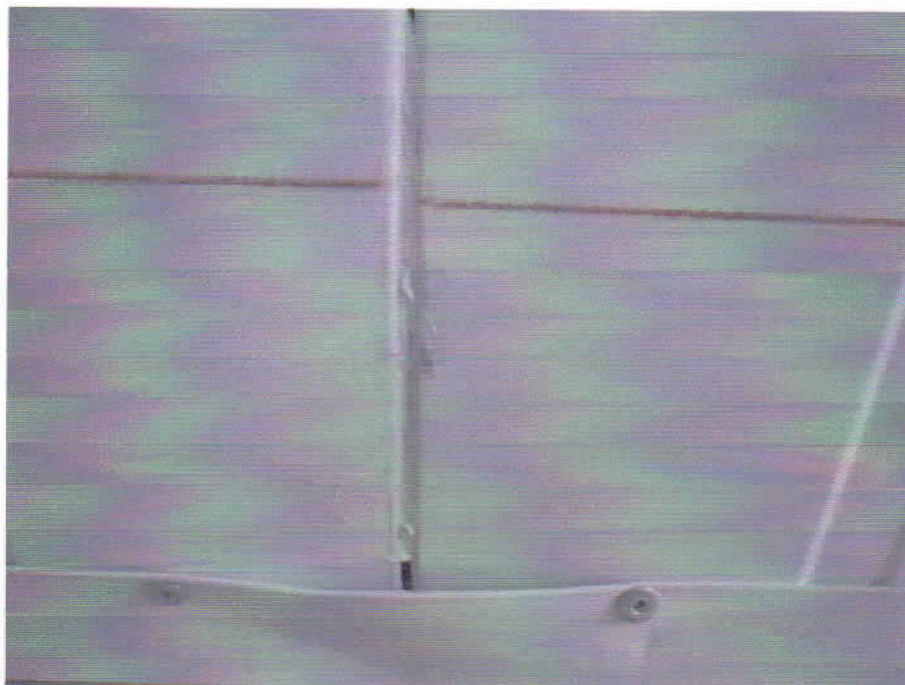


Estado final del perfil del Muro-02.

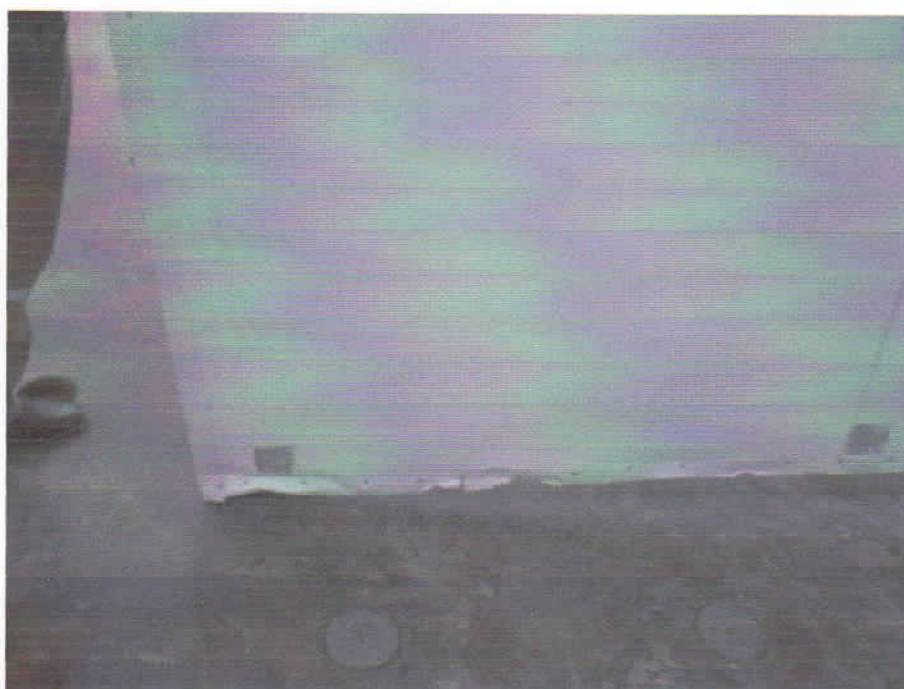




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



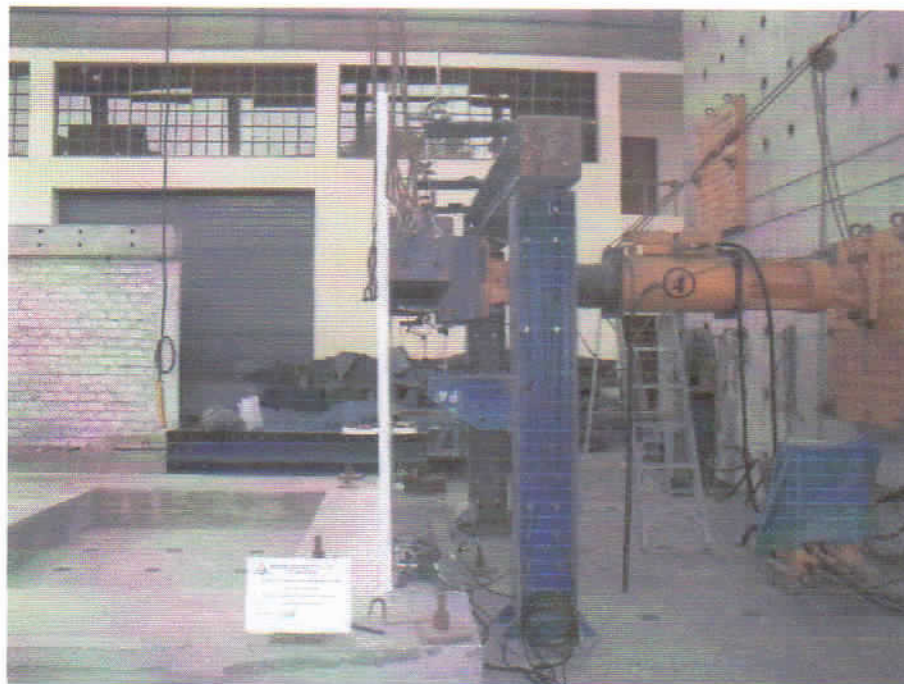
Distorsión 1/200 Perfil deformado y unión desfasada en el Muro-03.



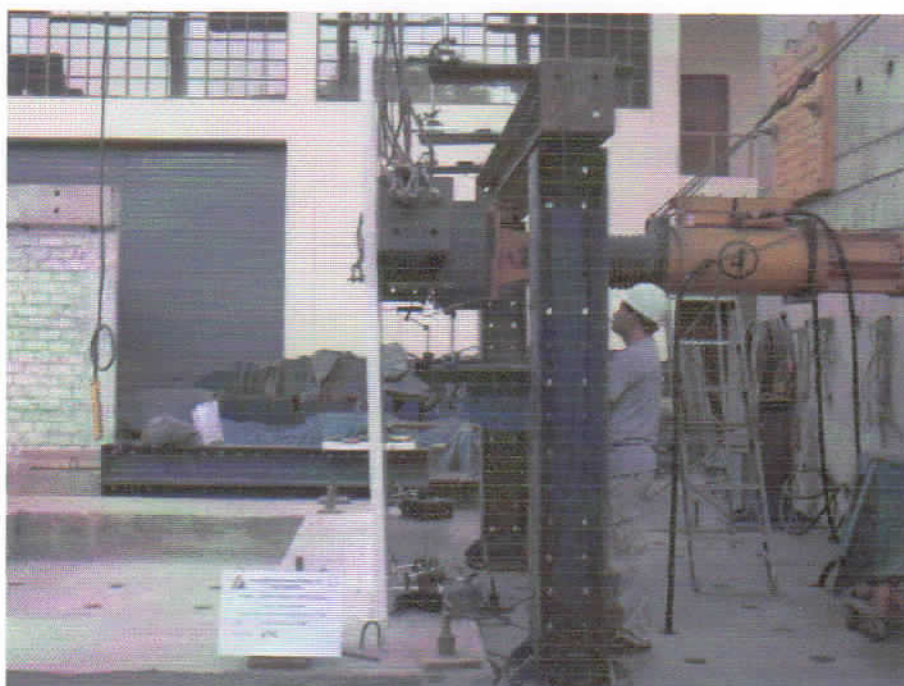
Estado final del perfil del Muro-03.



ENSAYO DE CARGA PERPENDICULAR A UN MURO FORMADO POR PANELES



Estado inicial del espécimen sometido al ensayo de carga perpendicular al plano.



Estado final del espécimen. Distorsión 1/75.



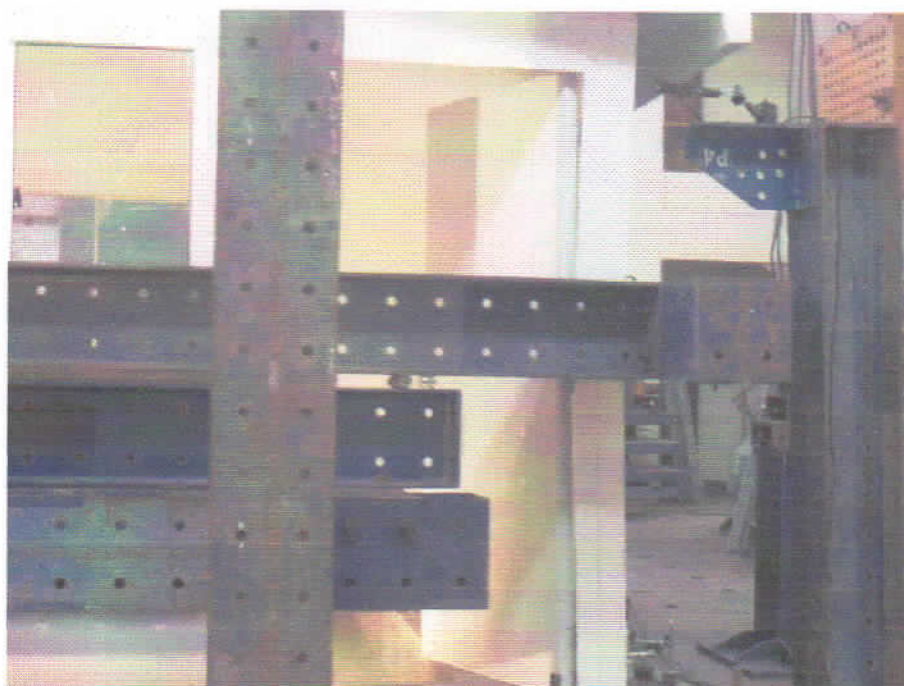
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO DE UN MÓDULO A ESCALA NATURAL



Distorsión 1/1350: abolladura de la esquina del panel.

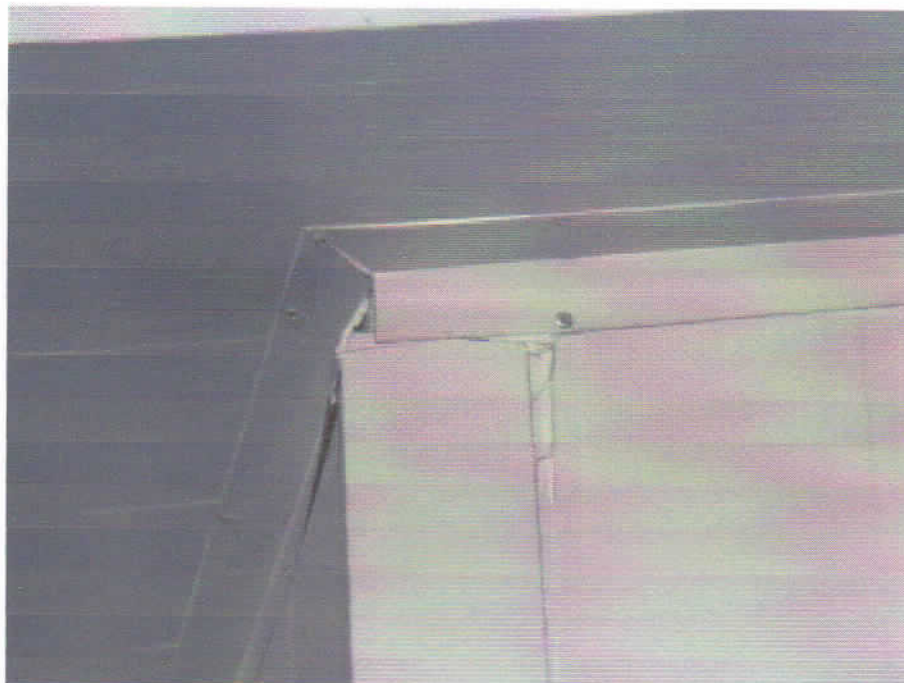


Distorsión 1/1350: Pérdida de verticalidad del módulo.

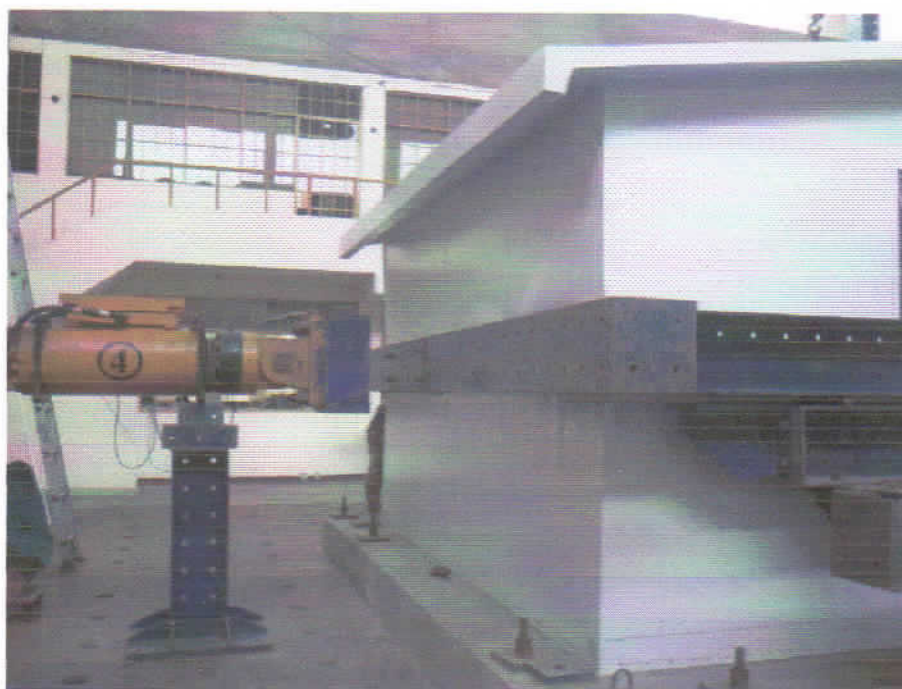




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Deformación del perfil de confinamiento del panel.



Abolladura y pérdida de verticalidad en la cara oeste del módulo.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Falla del machihembrado de los paneles techo.



Deformación del marco de la puerta por rotación.





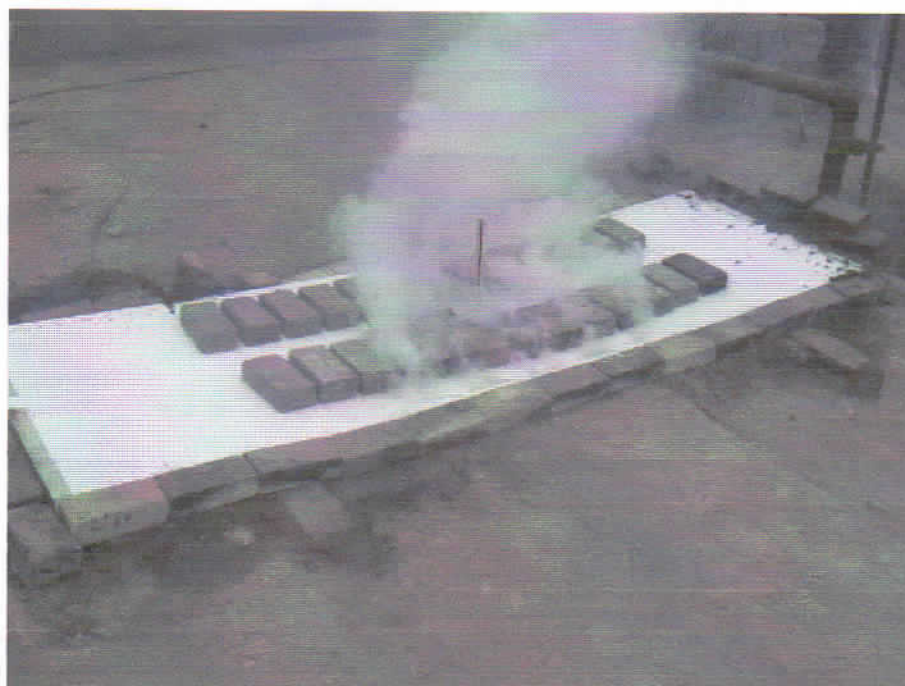
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO DE EXPOSICIÓN AL FUEGO



Ensayo de exposición al fuego bajo cargas de servicio.



Evaporación del poliestireno expandido.

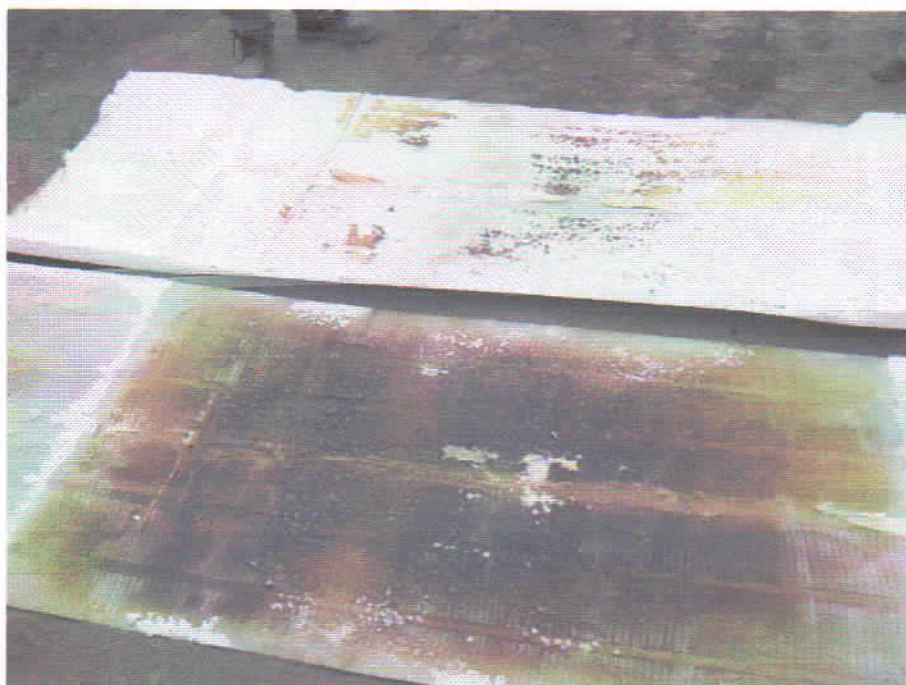




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Colapso del panel techo debido al fuego bajo condiciones de servicio.



Derretimiento del EPS y adhesivo al interior de las láminas metálicas.



Anexo C: Detalle de Estimaciones de Carga



FOR-EST-DSE-001
Elaborado por: Johann Cárdenas
Revisado por: Yusef Contreras
Aprobado por: Ricardo Santos
Modificación: Rev00
Fecha: 22.06.2019

Proyecto:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

Cliente:

Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Ubicación:

Departamento Académico de Ingeniería Civil - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

ESPECTRO INELÁSTICO DE PSEUDOACELERACIONES

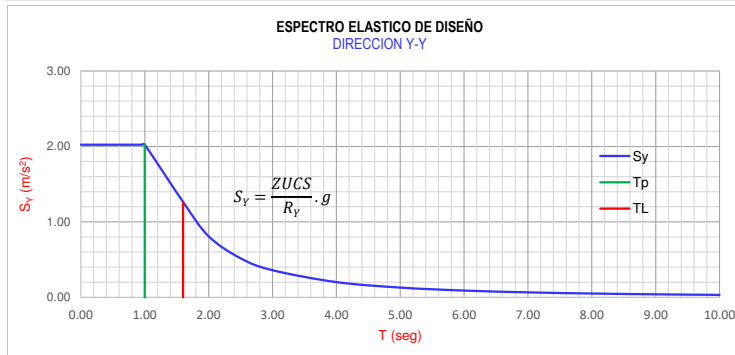
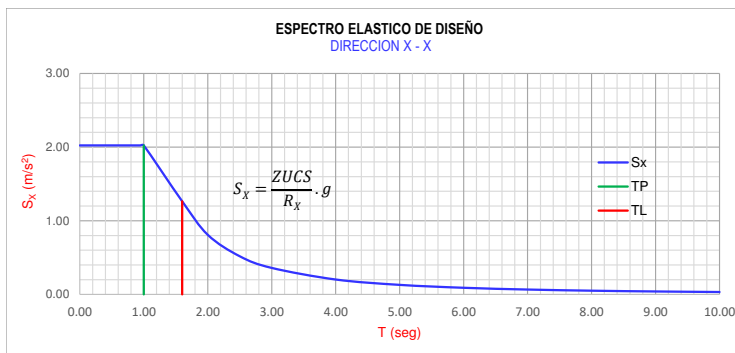
A.- INFORMACION GENERAL

PARAMETROS				
SIMBOLOGIA	DESCRIPCION	CARACTERÍSTICA	FACTOR	OBSERVACION
Z	Factor de Zona	ZONA 4 (Z4)	0.45	Proyecto situado en Piura
U	Factor de Uso (Categoría)	(C) EDIFICACIONES COMUNES	1.00	Uso : Vivienda
S	Factor de Suelo	(S3) SUELOS BLANDOS	1.10	Sin Observaciones
	Periodo T_P	Periodo que define la plataforma del factor C.	1.00	Perfil de Suelo S3
	Periodo T_L	Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante	1.60	Perfil de Suelo S3
R_0	Coeficiente Básico de Reducción	Muros Estructurales	6.00	Dirección X-X'
		Muros Estructurales	6.00	Dirección Y-Y'

FACTORES DE IRREGULARIDAD					
TIPO	DESCRIPCION	DIRECCION X		DIRECCION Y	
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA Factor de Irregularidad I_a	Irregularidad de Rigidez - Piso Blando	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad de Resistencia - Piso Débil	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Extrema de Rigidez	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Extrema de Resistencia	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad de Masa o Peso	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Geométrica Vertical	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA Factor de Irregularidad en Planta I_p	Irregularidad Torsional	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Torsional Extrema	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Esquinas Entrantes	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Discontinuidad del Diafragma	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Sistemas No Paralelos	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
		NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00

B- ESPECTRO DE LA NORMA TÉCNICA E.030 2018

DIRECCION X		
T (seg)	S_x (m/seg ²)	C
0.00	2.0233	2.50
0.02	2.0233	2.50
0.04	2.0233	2.50
0.06	2.0233	2.50
0.08	2.0233	2.50
0.10	2.0233	2.50
0.12	2.0233	2.50
0.14	2.0233	2.50
0.16	2.0233	2.50
0.18	2.0233	2.50
0.20	2.0233	2.50
0.25	2.0233	2.50
0.30	2.0233	2.50
0.35	2.0233	2.50
0.40	2.0233	2.50
0.45	2.0233	2.50
0.50	2.0233	2.50
0.55	2.0233	2.50
0.60	2.0233	2.50
0.65	2.0233	2.50
0.70	2.0233	2.50
0.75	2.0233	2.50
0.80	2.0233	2.50
0.85	2.0233	2.50
0.90	2.0233	2.50
0.95	2.0233	2.50
1.00	2.0233	2.50
1.60	1.2646	1.56
2.00	0.8093	1.00
2.50	0.5180	0.64
3.00	0.3597	0.44
4.00	0.2023	0.25
5.00	0.1295	0.16
6.00	0.0899	0.11
7.00	0.0661	0.08
8.00	0.0506	0.06
9.00	0.0400	0.05
10.00	0.0324	0.04



DIRECCION Y		
T (seg)	S_y (m/seg ²)	C
0.00	2.0233	2.50
0.02	2.0233	2.50
0.04	2.0233	2.50
0.06	2.0233	2.50
0.08	2.0233	2.50
0.10	2.0233	2.50
0.12	2.0233	2.50
0.14	2.0233	2.50
0.16	2.0233	2.50
0.18	2.0233	2.50
0.20	2.0233	2.50
0.25	2.0233	2.50
0.30	2.0233	2.50
0.35	2.0233	2.50
0.40	2.0233	2.50
0.45	2.0233	2.50
0.50	2.0233	2.50
0.55	2.0233	2.50
0.60	2.0233	2.50
0.65	2.0233	2.50
0.70	2.0233	2.50
0.75	2.0233	2.50
0.80	2.0233	2.50
0.85	2.0233	2.50
0.90	2.0233	2.50
0.95	2.0233	2.50
1.00	2.0233	2.50
1.60	1.2646	1.56
2.00	0.8093	1.00
2.50	0.5180	0.64
3.00	0.3597	0.44
4.00	0.2023	0.25
5.00	0.1295	0.16
6.00	0.0899	0.11
7.00	0.0661	0.08
8.00	0.0506	0.06
9.00	0.0400	0.05
10.00	0.0324	0.04

	T (seg)	S_x (m/seg ²)
T_P	1.00	0.0000
	1.00	2.0233
T_L	1.60	0.0000
	1.60	1.2646

	T (seg)	S_y (m/seg ²)
T_P	1.00	0.0000
	1.00	2.0233
T_L	1.60	0.0000
	1.60	1.2646



FOR-EST-DSE-001
Elaborado por: Johann Cárdenas
Revisado por: Yusef Contreras
Aprobado por: Ricardo Santos
Modificación: Rev00
Fecha: 22.06.2019

Proyecto:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

Cliente:

Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Ubicación:

Departamento Académico de Ingeniería Civil - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

ESPECTRO INELÁSTICO DE PSEUDOACELERACIONES

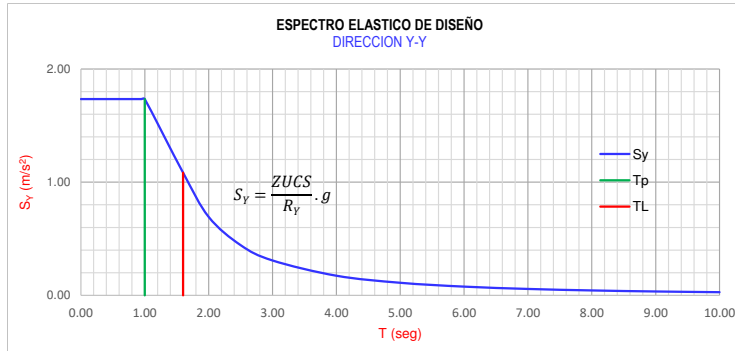
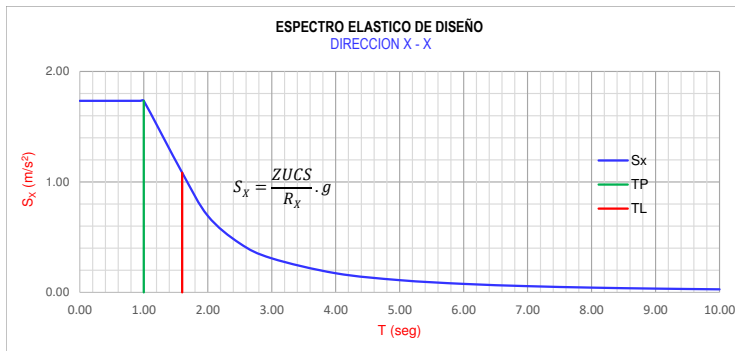
A.- INFORMACION GENERAL

PARAMETROS					
SIMBOLOGIA	DESCRIPCION	CARACTERÍSTICA	FACTOR	OBSERVACION	
Z	Factor de Zona	ZONA 4 (Z4)	0.45	Proyecto situado en Piura	
U	Factor de Uso (Categoría)	(C) EDIFICACIONES COMUNES	1.00	Uso : Vivienda	
S	Factor de Suelo	(S3) SUELOS BLANDOS	1.10	Sin Observaciones	
	Periodo T_P	Periodo que define la plataforma del factor C.	1.00	Perfil de Suelo S3	
	Periodo T_L	Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante	1.60	Perfil de Suelo S3	
R_0	Coeficiente Básico de Reducción	Madera (Por Esfuerzos Admisibles)	7.00	Dirección X-X	
		Madera (Por Esfuerzos Admisibles)	7.00	Dirección Y-Y	

FACTORES DE IRREGULARIDAD					
TIPO	DESCRIPCION	DIRECCION X		DIRECCION Y	
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA Factor de Irregularidad I_a	Irregularidad de Rigidez - Piso Blando	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad de Resistencia - Piso Débil	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Extrema de Rigidez	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Extrema de Resistencia	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad de Masa o Peso	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Geométrica Vertical	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA Factor de Irregularidad en Planta I_p	Irregularidad Torsional	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Irregularidad Torsional Extrema	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Esquinas Entrantes	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Discontinuidad del Diafragma	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
	Sistemas No Paralelos	NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00
		NO PRESENTA	1.00	NO PRESENTA	1.00

B- ESPECTRO DE LA NORMA TÉCNICA E.030 2018

DIRECCION X		
T (seg)	S_x (m/seg ²)	C
0.00	1.7343	2.50
0.02	1.7343	2.50
0.04	1.7343	2.50
0.06	1.7343	2.50
0.08	1.7343	2.50
0.10	1.7343	2.50
0.12	1.7343	2.50
0.14	1.7343	2.50
0.16	1.7343	2.50
0.18	1.7343	2.50
0.20	1.7343	2.50
0.25	1.7343	2.50
0.30	1.7343	2.50
0.35	1.7343	2.50
0.40	1.7343	2.50
0.45	1.7343	2.50
0.50	1.7343	2.50
0.55	1.7343	2.50
0.60	1.7343	2.50
0.65	1.7343	2.50
0.70	1.7343	2.50
0.75	1.7343	2.50
0.80	1.7343	2.50
0.85	1.7343	2.50
0.90	1.7343	2.50
0.95	1.7343	2.50
1.00	1.7343	2.50
1.60	1.0839	1.56
2.00	0.6937	1.00
2.50	0.4440	0.64
3.00	0.3083	0.44
4.00	0.1734	0.25
5.00	0.1110	0.16
6.00	0.0771	0.11
7.00	0.0566	0.08
8.00	0.0434	0.06
9.00	0.0343	0.05
10.00	0.0277	0.04



DIRECCION Y		
T (seg)	S_y (m/seg ²)	C
0.00	1.7343	2.50
0.02	1.7343	2.50
0.04	1.7343	2.50
0.06	1.7343	2.50
0.08	1.7343	2.50
0.10	1.7343	2.50
0.12	1.7343	2.50
0.14	1.7343	2.50
0.16	1.7343	2.50
0.18	1.7343	2.50
0.20	1.7343	2.50
0.25	1.7343	2.50
0.30	1.7343	2.50
0.35	1.7343	2.50
0.40	1.7343	2.50
0.45	1.7343	2.50
0.50	1.7343	2.50
0.55	1.7343	2.50
0.60	1.7343	2.50
0.65	1.7343	2.50
0.70	1.7343	2.50
0.75	1.7343	2.50
0.80	1.7343	2.50
0.85	1.7343	2.50
0.90	1.7343	2.50
0.95	1.7343	2.50
1.00	1.7343	2.50
1.60	1.0839	1.56
2.00	0.6937	1.00
2.50	0.4440	0.64
3.00	0.3083	0.44
4.00	0.1734	0.25
5.00	0.1110	0.16
6.00	0.0771	0.11
7.00	0.0566	0.08
8.00	0.0434	0.06
9.00	0.0343	0.05
10.00	0.0277	0.04

	T (seg)	S_x (m/seg ²)
T_P	1.00	0.0000
	1.00	1.7343
T_L	1.60	0.0000
	1.60	1.0839

	T (seg)	S_y (m/seg ²)
T_P	1.00	0.0000
	1.00	1.7343
T_L	1.60	0.0000
	1.60	1.0839



FOR-EST-ANA-010
Elaborado por: Johann Cárdenas
Revisado por: Yusef Contreras
Aprobado por: Ricardo Santos
Modificación: Rev00

Proyecto:

"ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE PANELES SANDWICH Y EL SISTEMA DE ENTRAMADOS DE MADERA USADOS COMO MÓDULO TEMPORAL DE VIVIENDA EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ"

Cliente:

Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Ubicación:

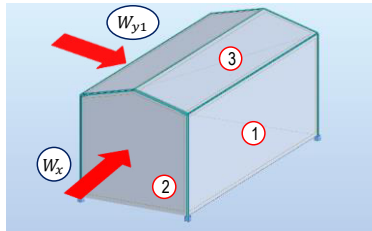
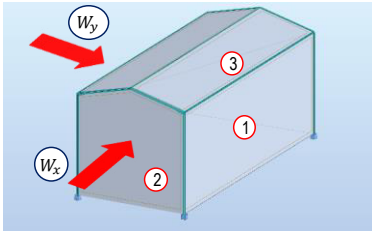
Departamento Académico de Ingeniería Civil - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

METRADO DE CARGAS DE VIENTO

A.- INFORMACION GENERAL

A.1.- Estructura Totalmente Cerrada

W_x Viento en Sentido Transversal a la Estructura o Longitudinal al Pórtico, asumiendo que esta totalmente cerrada.
 W_{x1} Viento en Sentido Transversal a la Estructura o Longitudinal al Pórtico, asumiendo que esta totalmente cerrada.
 W_y Viento en Sentido Longitudinal a la Estructura o Transversal al Pórtico, asumiendo que esta totalmente cerrada.



En el gráfico, las paredes opuestas a 1,2 y 3 se denominan 1',2' y 3' respectivamente.

A.2.- Carga de Viento Según el RNE

V	Velocidad de Diseño del Viento (km/h)	80.00
h	Altura sobre el Terreno (m)	3.20
V_h	Velocidad de Diseño en la Altura h	km/h
	$V_h = V (h / 10)^{0.22}$	75.00
P_h	Carga Exterior de Viento (Presión o Succión)	kg/m ²
	$P_h = 0.005 C V_h^2$	28.125
C	Factor de Forma para Carga Exterior	
	Barlovento	Tabla IV
	Sotavento	Tabla IV
C	Factor de Forma para Carga Interior	
	Uniforme en Lados (Barlovento/Sotavento)	± 0.30
	Principales en Lado a Barlovento	0.80
	Principales en Lado a Sotavento o en Costados	-0.60

* (+) Presión, (-) Succión

B.- PRESIONES DE VIENTO EN SUPERFICIES

SUPERFICIE	1er CASO: Wy			2do CASO: Wy1			3er CASO: Wx		
	Tipo	Barlovento	Sotavento	Tipo	Barlovento	Sotavento	Tipo	Barlovento	Sotavento
1 - 1'	I	0.80	- 0.60	I	0.80	- 0.60	IX	- 0.70	- 0.70
Dirección Y-Y									
2 - 2'	IX	- 0.70	- 0.70	IX	- 0.70	- 0.70	I	0.80	- 0.60
Dirección X-X									
3 - 3'	VI	- 0.70	- 0.60	VI	0.30	- 0.60	IX	- 0.70	- 0.70
Cobertura									

SUPERFICIE	CASO 1			CASO 2			CASO 3		
	Tipo	Barlovento	Sotavento	Tipo	Barlovento	Sotavento	Tipo	Barlovento	Sotavento
1 - 1'	I	22.50	- 16.88	I	22.50	- 16.88	IX	- 19.69	- 19.69
Dirección Y-Y									
2 - 2'	IX	- 19.69	- 19.69	IX	- 19.69	- 19.69	I	22.50	- 16.88
Dirección X-X									
3 - 3'	VI	- 19.69	- 16.88	VI	8.44	- 16.88	IX	- 19.69	- 19.69
Cobertura									

C.- ESQUEMA DE APLICACION DE CARGAS DE VIENTO

1er CASO: Wy1	2do CASO: Wy2	3er CASO: Wx